

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
FACULTAD DE CIENCIAS GEOLÓGICAS



TESIS DOCTORAL

**Estudio mineralógico y genético de los yacimientos de talco
de la Serranía de Ronda (Málaga)**

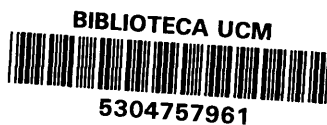
MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR
PRESENTADA POR

Magdalena Rodas

DIRECTOR:

Emilio Galán Huertos

Madrid, 2015



616

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE CIENCIAS GEOLOGICAS

R.T. 792

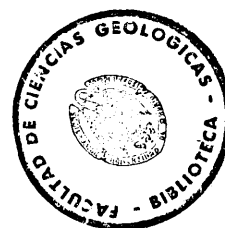
ESTUDIO MINERALOGICO Y GENETICO DE LOS YACIMIENTOS
DE TALCO DE LA SERRANIA DE RONDA (MALAGA)

MEMORIA

para optar al Grado de Doctor en Ciencias Geológicas

presenta

MAGDALENA RODAS GONZALEZ



X-53-148521-7

Madrid, 1978

ESTUDIO MINERALOGICO Y GENETICO DE LOS YACIMIENTOS
DE TALCO DE LA SERRANIA DE RONDA. (MALAGA)

MEMORIA para aspirar al Grado de Doctor en Ciencias
Geológicas, realizado por Magdalena Rodas González.

Trabajo dirigido por el Dr.E.Galán Huertos

Madrid, Marzo 1978

Quiero ante todo, hacer constar mi agradecimiento a todas las personas que han colaborado en la elaboración de este trabajo, sin cuya ayuda no hubiera sido posible su realización.

En primer lugar, deseo expresar mi gratitud al Dr. D. Emilio Galán Huertos, Prof. Agregado de la Universidad de Zaragoza, por haber aceptado la dirección de esta Tesis Doctoral por su continua orientación y por sus consejos a lo largo de estos años.

Mi agradecimiento al Prof. D. José L. Amorós Portolés, Jefe del Departamento de Cristalografía y Mineralogía, de la Facultad de Ciencias de la Universidad Complutense de Madrid, por haber aceptado la ponencia de esta tesis y por su acertada labor de crítica en la revisión y redacción definitiva del manuscrito.

Agradecer también a los especialistas Dres. J.M. Serratosa, J. Galván, L. Carvajal, E. Ibarrola, J. López-Ruiz, J. García Cacho que me ayudaron en la realización e interpretación de los resultados de algunas de las técnicas analíticas empleadas.

Por último a Angel La Iglesia, Alfredo Arche, Francisco L. Aguayo, Mercedes Doval, Rosario Lunar, M^a José Casado y demás compañeros del Departamento de Cristalografía y Mineralogía con cuya colaboración y ayuda incondicional he contado en todo momento.

INDICE

	<u>Pág.</u>
I. INTRODUCCION	1
II. OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO	5
III. ENCUADRE GEOLOGICO GENERAL Y SITUACION DE LOS YACIMIENTOS	
3.1. Situación geográfica	6
3.2. Encuadre geológico	6
3.3. Características geológicas de las intrusio- nes peridotíticas	11
3.4. Localización de los yacimientos estudiados .	15
IV. METODOS DE TRABAJO Y TECNICAS EXPERIMENTALES.	
4.1. Trabajo de campo	20
4.2. Trabajos de laboratorio	21
4.2.1. Análisis mineralógico	21
4.2.1.1. Difracción de Rayos X	21
4.2.1.2. Análisis termogravimétrico .	29
4.2.1.3. Espectroscopía de Infrarrojos	31
4.2.1.4. Microscopía electrónica	32
4.2.1.5. Microscopía de luz transmitda	32
4.2.1.6. Microscopía de luz reflejada.	33
4.2.2. Análisis químico	33
4.2.2.1. Fluorescencia de Rayos X	33
4.2.2.2. Análisis químico por vía hú- meda	35
4.2.2.3. Microsonda electrónica	36
V. ESTUDIO DE LOS YACIMIENTOS.	
5.1. Area Sierra de Alpujata	38
5.1.1. Yacimiento Por Fín	38
5.1.2. Yacimiento Marina :.....	59
5.1.3. Yacimiento Inesperada	74
5.1.4. Yacimiento Pérez-Brian	94
5.1.5. Yacimiento Rafaela	108
5.1.6. Yacimiento María del Pilar	124

	<u>Pág.</u>
5.2. Area Sierra Bermeja	138
5.2.1. Yacimiento Costa del Sol	138
5.2.2. Yacimiento Majestuosa	157
5.2.3. Yacimiento Km. 5,2 de la carretera a Benahavis	172
VI. DISCUSION DE LOS RESULTADOS	185
VII. MINERALOGENESIS	189
VIII. CONCLUSIONES	198
IX. APENDICE: EL TALCO	205
X. BIBLIOGRAFIA	212

I. INTRODUCCION

Los yacimiento españoles de talco actualmente en explotación se encuentran distribuidos por las provincias de León, Gerona, Almería y Málaga, aunque ha sido citado este material en muchas otras localidades de las provincias de La Coruña, Pontevedra, Santander, Oviedo, Barcelona, Avila, Cáceres, Huelva, etc., y en diversos puntos de los Pirineos y Sierra Morena (CALDERON 1.910, ALVAREZ-ESTRADA, 1.952). Si bien la mayor parte de estas citas son sólo indicios mineros, tales afloramientos deberían ser revisados porque algunos de ellos pudieran ser de interés económico.

La producción española de talco ha aumentado ligeramente en los últimos años, pasando de 40.743 Tm (vendibles) en el año 1.971 a 47.318 en el 1.975, lo que supone sólo un 1 % de la producción mundial, que en 1.973 fue del orden de los 5,5 millones de Tm. En este mismo espacio de tiempo, el valor medio de las Tm. ha subido de 627,5 ptas. en 1.971 a 2.046,4 ptas. en 1.975.

En la actualidad, el talco procede fundamentalmente de León y Gerona y, aunque existan ciertas diferencias de calidad entre ambos, en conjunto son muy superiores a los de Málaga.

En los yacimientos malagueños la producción vendible fue de 6.861 Tm. en 1.971 y de 8.571 en 1.975. En la tabla 1 se recogen algunos datos estadísticos sobre la producción de talcos en España. Del estudio de dicha tabla se pueden deducir las siguientes conclusiones:

1º. - Progresivo aumento de la producción total en 74-75 después del estacionamiento del trienio 1.971, 72, 73.

2º. - En Málaga la inflexión de caída de 1.973 en la producción es mu-

TABLA 1

Año	Produce. total (Tm.)	Produce. total Tm. (Málaga)	% total de la producc. de Málaga sobre el total	Precio total 10 ³ ptas. Málaga. 10 ³ ptas.	Precio total % del valor de la producc. de Má- laga sobre el total
1. 971	40.743	6.861	16,84	25.567	5.140
1. 972	40.328	6.682	16,56	34.817	5.345
1. 973	40.134	5.599	13,95	42.521	5.544
1. 974	54.988	8.099	14,73	75.796	7.265
1. 975	47.318	8.571	18,11	96.833	7.537

DATOS ECONOMICOS DE TALCO ⁽¹⁾

(1) (Elaborados a partir de la Estadística Minera de España 1971-1975)

cho más acusada, sobre todo teniendo en cuenta el fuerte crecimiento de 1.974

- 3º. - Progresivo aumento del precio total de la producción nacional. Esto habría que conectarlo con la evolución del índice de precios que se eleva en este periodo.
- 4º. - En contraposición se produce una progresiva disminución del valor total de la producción de Málaga en relación con el resto del país. La contracción llega a suponer sólo el 38,71 % en 1.971. Se pone así de relieve el descenso de calidad del talco que se ha venido produciendo.

En efecto, el talco que se obtiene de los yacimientos de Málaga es de baja calidad para ser utilizado como material cerámico; la gran cantidad de clorita que contiene hace además que adopte tonalidades verdosas, dando índices de blancura relativamente bajos.

Sin embargo, aunque no aporten grandes volúmenes a la producción española, su estudio desde el punto de vista geológico es de gran interés, ya que su génesis a partir de rocas ultrabásicas es muy diferente a los yacimientos de León y Gerona. Los primeros formados por silicificación de dolomías y los segundos debidos a la intrusión de rocas graníticas en dolomías.

De los yacimientos estudiados sólo uno se encuentra en explotación continua, pero prácticamente aporta toda la producción de talco de la provincia.

El talco, debido a sus múltiples aplicaciones industriales, ha sido objeto en España de varios trabajos de investigación, tanto desde el punto de vista geológico y mineralógico como del tecnoló-

gico. Caben destacar entre estos estudios los de MENDIZABAL (1. 941), HERNANDEZ SAMPELAYO (1. 941) y RODAS y GALAN (1. 973), sobre los criaderos de talco de Puebla de Lillo (León); los de HOYOS DE CASTRO y AHUMADA (1. 951), sobre la mineralogía y génesis del talco de Lucar (Almería); el de HOYOS y DELGADO (1. 958) que trata de la mineralogía del talco formado en las serpentininas del Barranco de San Juan, Sierra Nevada (Granada); el de ESTEVEZ (1. 97) que describe algunas mineralizaciones del pirineo gerundense; el de HERNANDEZ PACHECO (1. 967) que al estudiar el macizo ultramáfico de Ojen (Málaga) describe las mineralizaciones de talco existentes en la zona y su relación con la tectónica; los de GALAN et al. (1. 972) y LOPEZ AGUAYO et al. (1. 974) con estudios concretos sobre algunos depósitos de la Serranía de Ronda; y por último los de ALEIXANDRE y ALVAREZ-ESTRADA (1. 949); ALVAREZ-ESTRADA (1. 952) y (1. 962) y ALEIXANDRE y SANCHEZ CONDE (1. 970), que han estudiado diversas muestras de talcos españoles en relación con sus propiedades dieléctricas y cerámicas.

II. OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO:

El objetivo de este trabajo es el estudio de las mineralizaciones de talco de la Serranía de Ronda (Málaga) así como de las rocas relacionadas con ellas, desde el punto de vista mineralógico y genético. Con él se contribuye al conocimiento y localización de los yacimientos de talco, su composición mineralógica y química y condiciones genéticas de formación.

Se describen por tanto los aspectos mineralógicos y químicos de las mineralizaciones de talco, así como de las rocas encajantes.

El plan de trabajo previsto para el desarrollo de esta investigación ha comprendido las siguientes etapas:

- 1º.- Reconocimiento geológico previo de los yacimientos, y elaboración de un esquema geológico de cada uno de ellos.
- 2º.- Toma de muestras en los distintos filones, no sólo de la masa mineralizada, sino también de las rocas encajantes, en el contacto y sus proximidades.
- 3º.- Estudio mineralógico de las muestras recogidas mediante las técnicas más adecuadas a cada tipo de material. Este estudio mineralógico ha sido completado con los análisis químicos de las muestras que por sus características se ha considerado oportuno.
- 4º.- De manera simultanea a todas las etapas anteriores se ha programado una recopilación bibliográfica exhaustiva de todos los datos existentes sobre yacimientos de talco en el mundo, de las condiciones físicoquímicas de estabilidad de dicho mineral y de sus condiciones de formación.

III. ENCUADRE GEOLOGICO GENERAL Y SITUACION DE LOS YACIMIENTOS

3.1. Situación geográfica

La zona de estudio se encuentra situada en la Serranía de Ronda, sector occidental, dentro del ámbito geológico de las cordilleras Béticas.

Las Cordilleras Béticas están situadas en la parte meridional de la Península Ibérica, y se extienden desde Cádiz hasta el Sur de la provincia de Valencia. Los límites son: al Este y al Sur el mar Mediterráneo, al Oeste el Océano Atlántico y al Norte el borde meridional de la cuenca del Guadalquivir.

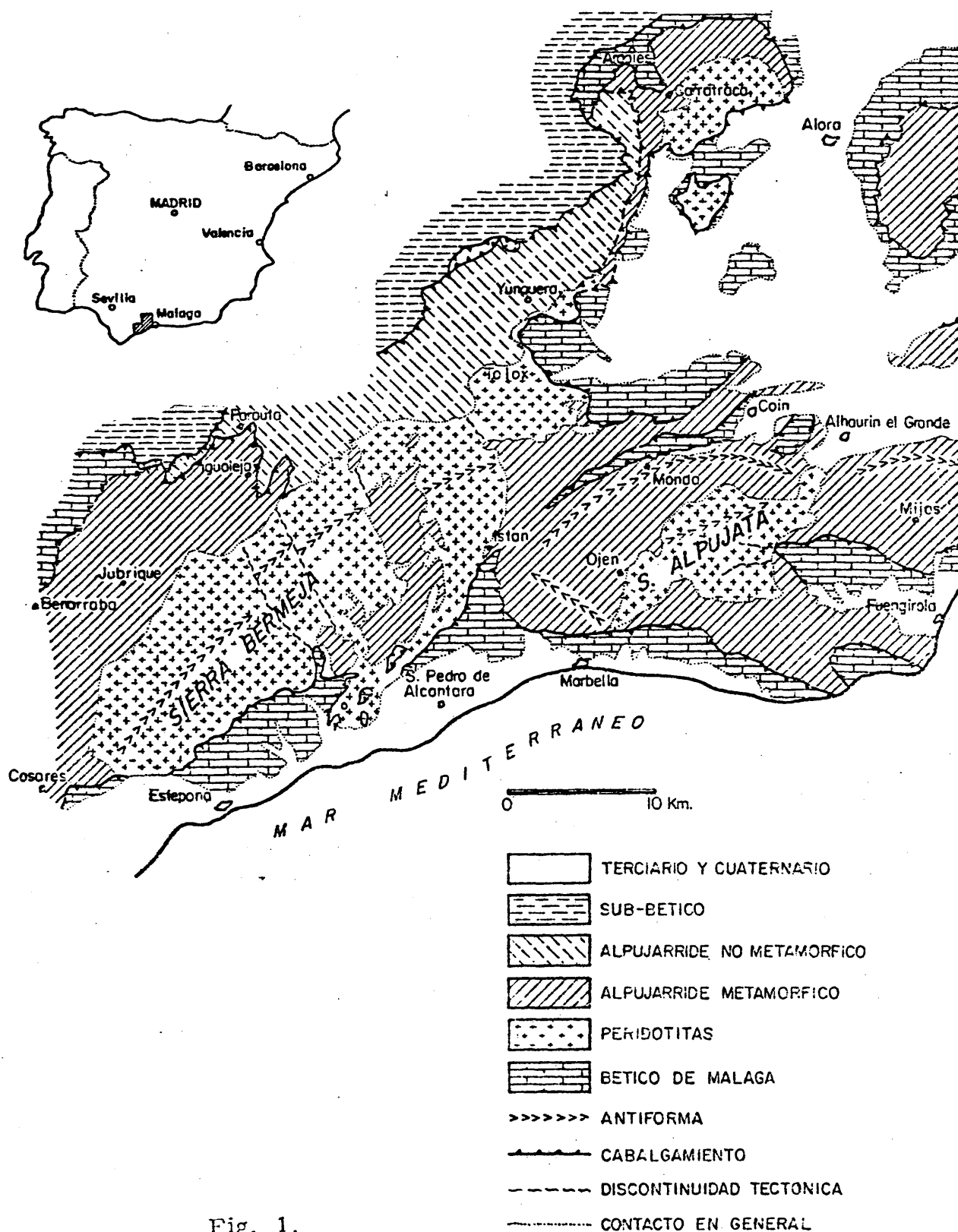
Según la definición de ORUETA (1. 917) pueden asignarse a la Serranía de Ronda los siguientes límites: por el Norte el valle del río Guadateba, por el Sur el Mediterráneo, por el Este el río Guadalhorce y por el Oeste el río Guadiaro. Queda así limitada una superficie de forma trapezoidal aproximadamente comprendida entre las altitudes $36^{\circ} 17'$ y el paralelo de la desembocadura del Guadiaro (Fig. 1).

Los yacimientos de talco se encuentran en general siguiendo una dirección SW-NE, normalmente en contacto con los afloramientos peridotíticos. Estos afloramientos se extienden por la provincia de Málaga, desde Estepona hasta las inmediaciones de Carratraca.

3.2. Encuadre geológico

Los afloramientos peridotíticos, que están en relación directa con los yacimientos de talco estudiados en este trabajo, han hecho intrusión a través de las formaciones metamórficas del "Bé-

MAPA GEOLOGICO GENERAL Y DE SITUACION DE LOS MACIZOS PERIDOTITICOS (AGUILAR M.J., CRESPO V. y REYES J.L. 1973)



tico de Málaga" tanto en su tramo inferior (gneis) como en el intermedio (dolomías)

En las cordilleras Béticas se pueden distinguir dos dominios con acusadas diferencias geológicas: un dominio septentrional o externo, constituido fundamentalmente por sedimentos mesozoicos y terciarios, afectados por la orogenia alpina, pero no por el metamorfismo alpino y un dominio meridional o interno, frecuentemente denominado como zona Bética en sentido estricto, constituido principalmente por materiales triásicos y más antiguos, afectados intensamente por el metamorfismo alpino.

De acuerdo con FALLOT (1.948), en el dominio externo es posible distinguir una zona septentrional o Prebético y una zona meridional o Subbético. La primera con facies de carácter continental nerfítico y la segunda con facies pelágicas.

El dominio interno o Bético está afectado violentamente por la orogénesis alpina y es posible distinguir en él cuatro grandes complejos tectónicos superpuestos, designados de la base al techo como complejo Nevado-Filábride, complejo Ballabona-Cucharón o complejo de Lujar, complejo Alpujárride y complejo Malaguide. Si bien estos cuatro complejos presentan diferencias de índole estratigráfico, en la práctica se les distingue por el grado de metamorfismo cuya intensidad decrece de los complejos basales a los complejos de posición tectónica superior. (EGELER y SIMON 1969).

Existen además, dentro del ámbito de las Cordilleras Béticas, un conjunto de depresiones rellenas por materiales neógenos de los cuales las más importantes son las cuencas del Guadalquivir, Granada, Guadix-Baza, Moratalla-Calaspa, etc.

Por otra parte hay que destacar la existencia de la deno-

DIVISIONES HECHAS PARA EL ESTUDIO DE LA SERRANIA
DE RONDA (MAUTTE 1971)

NORTE		Unidad tectonica inferior				Unidad tectonica superior		SUR	
BLUMEN- THAL 1927-1935	Subbetico	Citra- betico Trias	Externas	Medianas	Internas	Rondaidas	Betico de Malaga		
			Penibetico						
FALLOT 1948	Subbetico				Penibe- tico s. str.	Rondaidas	Betico de Malaga		
KOCKEL 1960	Zona Tablon	Zona Canete	Zona Chorro-Viento		Zona Prieta-Nieves	Betico de Malaga			
DURR 1963			Unidad Ronda		Unidad Enamo- rados	Unidad-Nieves	Unidad Yunquero SOLO N. SOLO W. NW	Unidad Casares SOLO N. SOLO W. NW	B-E* Betico de Malaga s. str.
MOLLAT 1965							Unidad-Blanca SOLO S.		Betico de Malaga s. str.
BUNTFUSS 1967							Unidad-Blanca		Betico de Malaga s. str.
HOPPE 1965	Subbetico s. str.	Unidad Paterna		Penibetico		* = Unidad Benadali			
MAUTHE 1967	Subbetico s. str.								
DESCRIPCION SINETICA	Unidades Externas					Unidades Internas			
	Zona facial Norte		Zona facial Sur			Unidades-Alpujarridas Zona no meta- morfica		Zona meta- morfica	Betico de Malaga s. str.

Tabla 2.

minada "Unidad del Campo de Gibraltar". Dichas unidades situadas al Sur de la provincia de Cádiz han sido consideradas como unidades de origen "ultrabético" por algunos autores, mientras que para otros deben ser consideradas como unidades subbéticas meridionales. Son fundamentalmente BLUMENTHAL (1949), FALLOT (1948). HOEPPENER et al. (1964) y CHAUVE (1967), los que se han ocupado del origen de estos elementos de las Cordilleras Béticas.

Un vulcanismo Neógeno, que constituye la provincia volcánica de Cabo de Gata, es el último acontecimiento de importancia en la historia de las Cordilleras Béticas y que parece guardar una estrecha relación con la provincia ultrabásica de Ronda (LOOMIS, 1975).

En la tabla 2 se puede observar una síntesis de los datos geológicos recopilados por MAUTHE (1971) que permiten agrupar zonas locales en complejos de mayor amplitud, para obtener así una visión más completa de la Serranía de Ronda, que es la zona donde se encuadran los yacimientos de talcos estudiados.

En las divisiones que se usan en la tabla, la ordenación de los términos descritos corresponden a la probable sucesión sedimentaria de Sur a Norte, y tectónicamente considerada desde las más altas a las más profundas.

Unidades internas:

La zona Bética s. str. aflora desde Estepona (provincia de Málaga) hasta el Norte de la provincia de Cádiz. Su anchura es variable según las transversales, con un máximo de unos 80 Km. en la transversal de Amesia.

Se caracteriza porque en su seno aflora el Paleozoico y

también por tener una estructura alpina de mantos de corrimiento de gran envergadura, en los que participan el zócalo y la cobertura. Además, y a diferencia de las unidades externas, el Bético s. str. viene afectado en general por un intenso metamorfismo alpino. También se diferencia de las unidades externas por el poco desarrollo que adquiere la cobertura, en realidad reducida a materiales de edad triásica.

El Bético s. str. está constituido por cuatro unidades distintas, o complejos, superpuestos tectónicamente y delimitados entre sí por superficies de corrimiento. Estas unidades son: el complejo Nevado-Filábride, el complejo Ballabona-Cucharón, el complejo Alpujárride y el complejo Malaguide o Bético de Málaga, que es la unidad tectónica más alta.

Unidades externas:

Son coincidentes en gran parte con el subbético de FALLLOT (1948). La zona subbética está representada sólo por terrenos de cuartera, de edad postpaleozoica. Estos terrenos comprenden desde el Trias hasta el Mioceno inferior y son de facies casi exclusivamente marinas.

3.3. Características geológicas de las intrusiones peridotíticas.

Cuatro grandes afloramientos peridotíticos y varios más pequeños aparecen en la Serranía de Ronda.

Este complejo ultrabásico está constituido por lherzolita y harzburgitas. En menores proporciones se hallan también dunitas piroxenitas de varios tipos, websteritas, noritas y gabros. Las rocas de este complejo han sido afectadas por procesos de serpentización, de gran importancia, variables según las localidades. En algunos sectores la serpentización ha llegado a ser prácticamente total, como se observa en varios puntos de la Sierra de Mijas.

El primer trabajo que cita la presencia de rocas ultrabásicas en la Serranía de Ronda es el de MAESTRE (1846) mencionando además la acción de un metamorfismo de contacto de las peridotitas sobre las calizas, transformándolas en dolomías.

Posteriormente, EZQUERRA DEL BAYO (1859), ALVAREZ DE LINERA (1851) y especialmente MACPHERSON (1874, 1875, 1881) describen los principales afloramientos y su petrografía.

TRAMELLI y MERCALLI (1886) delimitan las masas peridotíticas y dan una hipótesis sobre la formación de la serpentina. Los trabajos de LEVY y BERGESON (1889) y de DUPARC y GROSSET (1916) aportan nuevos datos parciales.

El trabajo más significativo y completo, considerado ya como clásico, es el de ORUETA (1917) que tiene un estudio detallado de las intrusiones ultramáficas y de las demás rocas aflorantes.

Según ORUETA (1917), y como BUNTFUS (1967) y MOLLAT (1968) han confirmado, existe, al menos en el afloramiento principal (Sierra Bermeja) una cierta distribución regular de las principales especies petrográficas referidas.

ORUETA propone que el magma ultrabásico cristalizó a grandes profundidades, formando un batolito que posteriormente se elevó hasta la superficie.

BLUMENTHAL (1949) considera los fenómenos de metamorfismo como poco acusados o inexistentes y supone que la intrusión se llevó a cabo por todos los puntos en que las masas marmoreas eran poco potentes, débiles y fracturadas o no existían.

Sin embargo, TERMIER y TERMIER (1956) consideran

estas peridotitas de origen metasomático, por transformación de rocas dolomitas.

Modernamente, hay que reseñar dos trabajos fundamentales de tipo petrogenético, llevados a cabo por componentes del equipo del Prof. FUSTER de la Universidad de Madrid, son los de HERNANDEZ PACHECO (1967) sobre el macizo de Ojen y el de AGUILAR y otros (1973), sobre los macizos de Carratraca, Ojen y Ronda, en colaboración con otros geólogos de la Compañía General de Sondeos, en orden a investigar el níquel existente en estas rocas.

El trabajo de recopilación de MAUTHE (1971) basado en su tesis y en los de KOCKEL (1964), DURR (1963), MOLLAT (1968) y BUNTFUSS (1967) aporta nuevas ideas relativas a la genética de estos plutones pero no incluye nuevos datos petrográficos.

Los trabajos de AGUILAR y otros (1973) y los de LOOMIS (1972; a y b y 1975) han aclarado una serie de dudas sobre el origen y condiciones de cristalización del magma, relación con otras unidades, edad, zonaciones petrográficas, metamorfismo de contacto, y relación con la tectónica de placas.

En síntesis: las manifestaciones peridotíticas de la Serranía de Ronda han intruído a alta temperatura, procedente del manto, en la serie pelítico-gneílica de la cobertera, en forma de diapiro, como parte de un sistema de umbrales ultrabásicos, que se extienden al W del mar del Alborán en las costas españolas y de Marruecos. La edad; según análisis de la relación K-Ar realizadas en biotita y moscovita y roca total, de la aureola de contacto se sitúa entre el final del Oligoceno y el comienzo del Mioceno. Las paragenesis encontradas indican que estas rocas eran estables a presiones superiores a los 8Kb. e inferiores a 30 Kb. en ambiente sólido, es decir, para temperaturas de 1200°C a 1300°C.

SITUACION DE LOS YACIMIENTOS DE TALCO DE SIERRA ALPUJATA Y ESQUEMA DE LA FRACTURACION

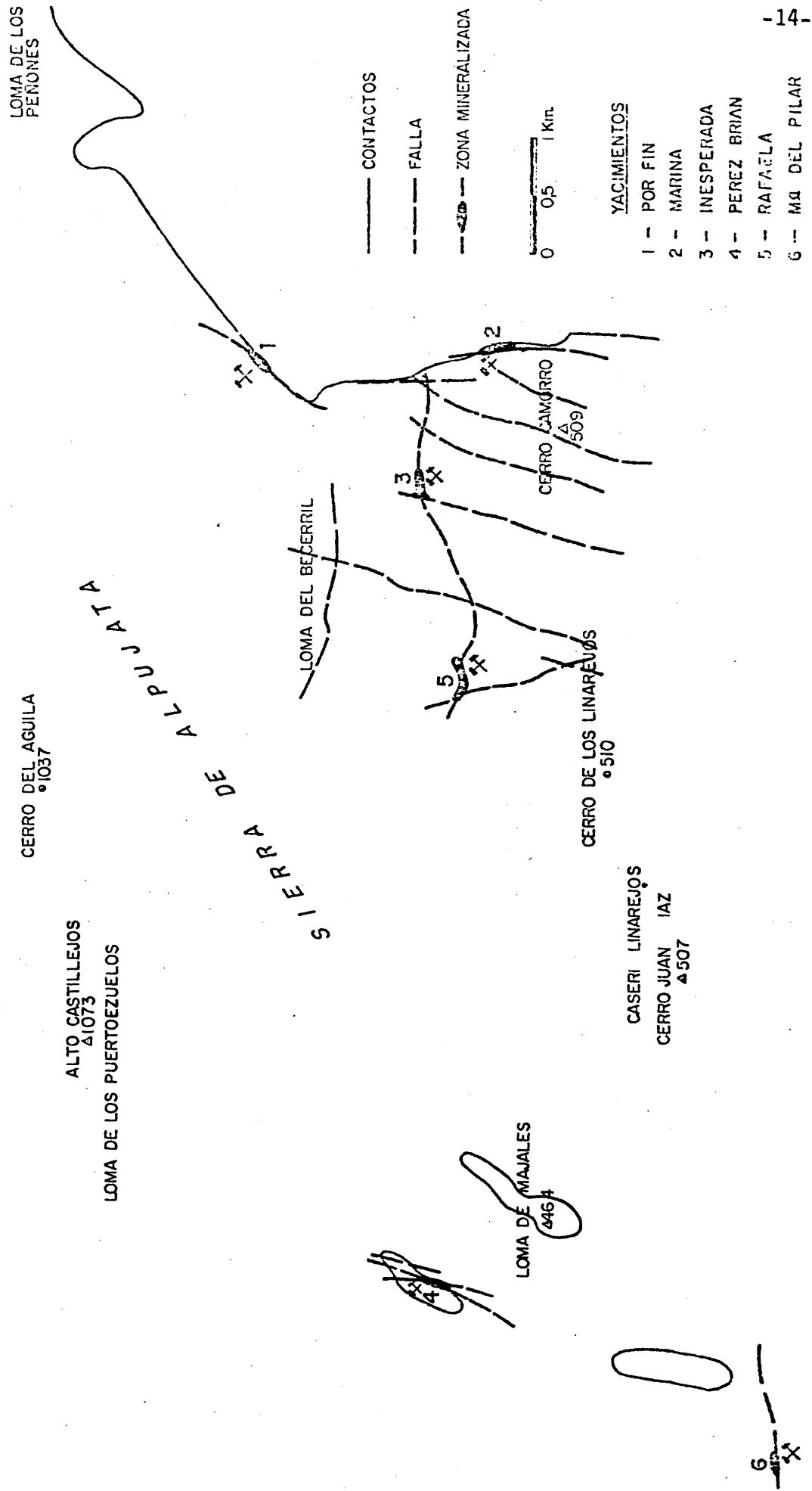


Fig. 2.

Respecto a la serpentina, se formó en parte durante el enfriamiento del magma ultrabásico (a temperaturas inferiores a los 500°C) y en parte por alteración supergénica. Las características texturales de algunas de las serpentinas indican que parte de ella se ha formado durante el proceso de ascenso.

Las serpentinas de origen autometamórfico están en íntima relación con zonas de dislocación tectónica y de borde, mientras la serpentización meteórica alcanza gran desarrollo, afectando a casi la totalidad de los afloramientos.

Las peridotitas aparecen con estructuras bandeadas planares (layering) que recuerdan la disposición de las rocas sedimentarias. Alternan las capas con predominio de olivino con otras con plagioclasas y piroxenos. El espesor varía entre 2 y 15 cm. La medida detallada de este layering ha servido para conocer la existencia de megaestructuras.

Los contactos de las rocas ultrabásicas con las rocas de caja son de dos tipos, magmáticos y tectónicos. El contacto con los gneises suele ser concordante y con los materiales paleozoicos del Bético de Málaga es tectónico. Así mismo, los contactos con los materiales no metamórficos, Eoceno-Oligoceno, son tectónicos o discordantes transgresivos.

Por último, son muy frecuentes, dentro de las masas peridotíticas, diques ácidos de pegmatitas y aplitas en fracturas posteriores a la red principal de fracturas y por tanto sin relación genética con las peridotitas. Estos diques existen también en las rocas de caja.

3.4. Localización de los yacimientos estudiados

Los yacimientos de talco estudiados aparecen en grandes

SITUACION DE LOS YACIMIENTOS DE TALCO EN SIERRA BERMEJA Y ESQUEMA DE FRACTURACION

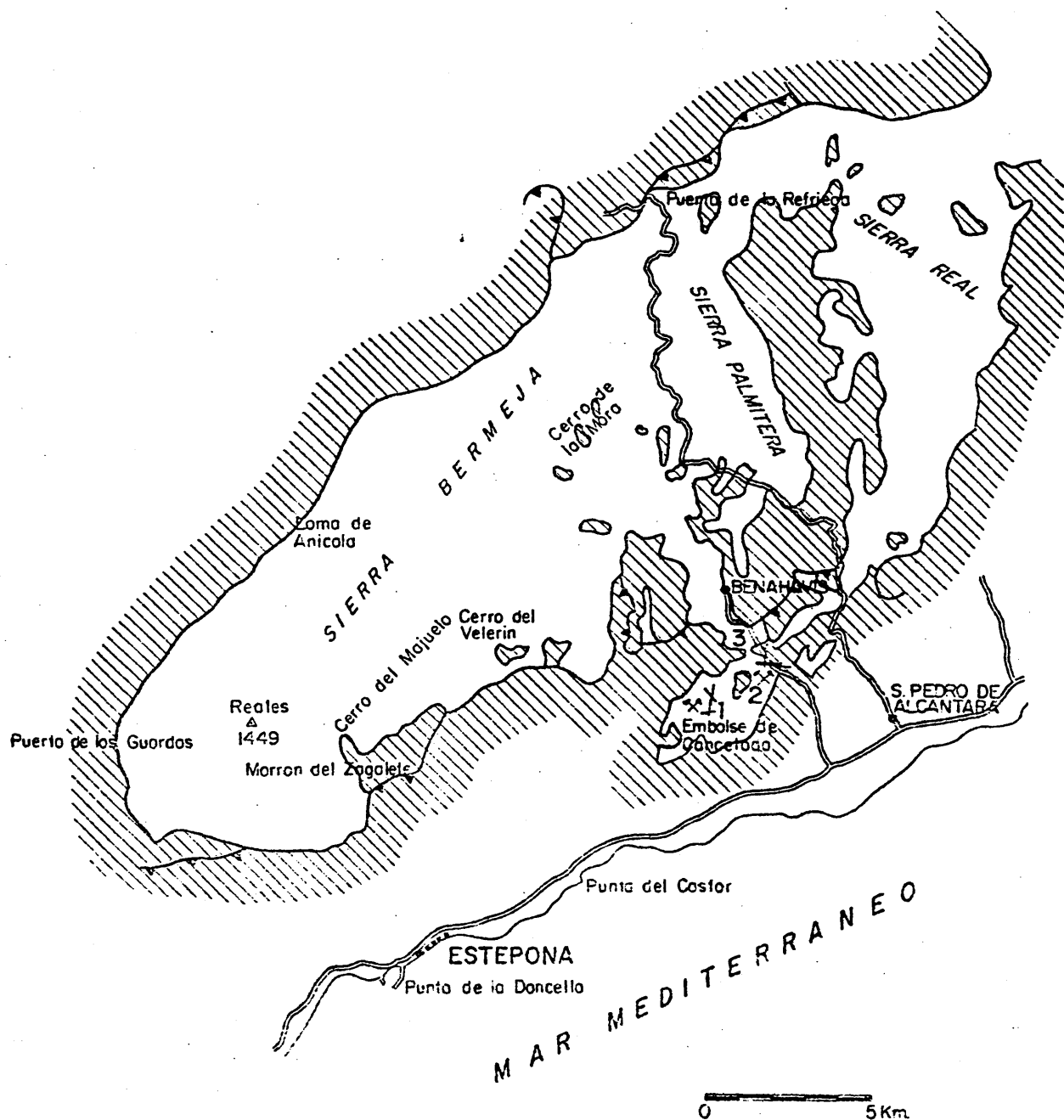


Fig. 3.

- 1- COSTA DEL SOL
- 2- MAJESTUOSA
- 3- Km. 5.2 CRA. A BENAHAVIS

masas en todas las zonas de fractura de la masa peridotítica. También suele aparecer como producto de alteración de los minerales de la roca ultrabásica.

Los yacimientos de talco estudiados están relacionados directamente con los dos afloramientos ultrabásicos más importantes de la Serranía de Ronda, que son la Sierra de Alpujata y la Sierra Bermeja (Fig. 1). En los demás afloramientos ultrabásicos aparece talco, también en las mismas condiciones de formación, pero por su escasa abundancia se ha centrado el estudio sólo en las mineralizaciones relacionadas con los macizos arriba mencionados.

A su vez, dentro de estas grandes áreas o sectores se han diferenciado los distintos depósitos con arreglo a los emplazamientos de las fracturas a las que se encuentran asociados. De esta forma se pueden distinguir:

Area Sierra de Alpujata (Fig. 2).

1. - Yacimientos asociados a fracturas en contacto con gneises y pizarras arcillosas:
 - Yacimiento PORFIN
 - Yacimiento MARINA
2. - Yacimientos asociados a fracturas dentro de la serpentina:
 - Yacimiento INESPERADA
 - Yacimiento PEREZ-BRIAN
 - Yacimiento RAFAELA
 - Yacimiento MARIA DEL PILAR

Area Sierra Bermeja (Fig. 3)

1. - Yacimientos asociados a fracturas dentro de la serpentina:
 - Yacimiento COSTA DEL SOL
 - Yacimiento MAJESTUOSA

2. - Yacimientos asociados a fracturas en contacto con mármoles:

- Yacimiento Km. 5.2 CARRETERA A BENAHAVIS.

En la tabla 3, se relacionan los distintos yacimientos es
tudiados, sus coordenadas geográficas medias, paraje, localidad, si
tuación actual e interés económico.

SIERRA DE ALPUJATA

SIERRA
BERMEJA

Nombre	Localidad y Paraje	Coordenadas geográficas	Estado actual de la explotación	Interés económico
POR FIN	Mijas. S.del arroyo de los toros	4° 44' 19,8" Long. 36° 35' 15" Latit.	Activo	grande
MARINA	Mijas. NW. del Cerro Camorro	4° 44' 19,8" Long. 36° 33' 41,4" Latit.	En paro	no
INESPERA- DA	Mijas. SW. del arroyo del Laurel	4° 44' 30" Long. 36° 33' 54" Latit.	En paro	no
PEREZ- BRIAN	Ojen. N. del arroyo del Tejar	4° 50' 06" Long. 36° 33' 54" Latit.	En paro	medio
RAFAELA	Mijas. NE. del cerro de los Linarejos	4° 46' 3,6" Long. 36° 33' 54" Latit.	En paro	medio
M ^a DEL PILAR	Ojen. NW. del cerro Granizo	4° 60' 0,83" Long. 36° 33' 28,20" Latit.	En paro	no
COSTA DEL SOL	Estepona. E. del embalse de Cancelada	5° 2' 24" Long. 36° 28' 13,8" Latit.	En paro	medio
MAJES - TUOSA	Benahavis. W. Km. 3 carretera a Benahavis	5° 2' 7,8" Long. 36° 30,31'16,2" Latit.	En paro	no
Km. 5,2 A BENAHAVIS	Benahavis. W. Km. 5,2 carretera a Benahavis	5° 2' 7,8" Long. 36° 30,50'27,6" Latit.	—	no

TABLA 3



IV. METODOS DE TRABAJO Y TECNICAS EXPERIMENTALES

En el presente estudio se han utilizado diversos métodos de trabajo, según la complejidad y dificultad de los problemas que se han ido planteando. En principio, se ha realizado una labor de campo, con visita a los afloramientos y reconocimiento detallado de labores mineras, con mayor o menor detalle según las condiciones e importancia del afloramiento, situándolos geológica y geográficamente y en una segunda etapa puramente de laboratorio se han estudiado las muestras seleccionadas. Obviamente se ha realizado además una revisión bibliográfica del tema en sus diferentes aspectos.

4.1. Trabajo de campo

El trabajo de campo ha consistido en visitar los nueve yacimientos en estudio y muestrearlos, así como realizar un pequeño esquema geológico de cada afloramiento, con toma de fotografías de las zonas que se han considerado de mayor interés.

Para la situación geológica se ha recurrido a toda la cartografía existente sobre la zona, utilizando también para la situación geográfica las hojas topográficas correspondientes a Marbella (1065), Coin (1066) y Estepona (1072) a escala 1:50.000. Los yacimientos de talco, objeto de este trabajo, se han dividido en dos áreas o sectores, como se ha indicado en el capítulo anterior, según estén relacionados con los macizos peridotíticos de la Sierra de Alpujata o de la Sierra Bermeja. A su vez, dentro de estos sectores se han clasificado de acuerdo con el emplazamiento de las fracturas a las que se encuentran asociados.

En cada yacimiento se ha recogido un número variable de muestras no sólo de la roca talquifera, sino de las rocas encajantes y de aquellas que genéticamente pueden estar en relación.

4.2. Trabajos de laboratorio

Los trabajos de laboratorio realizados para la identificación de los materiales estudiados han sido de dos tipos: químicos y mineralógicos.

4.2.1. Análisis mineralógicos

4.2.1.1. Difracción de Rayos-X

A. - Análisis cualitativo: Se han realizado diagramas de difracción de Rayos-X sobre preparados de polvo desorientados. En una primera fase se efectuó el estudio cualitativo de la totalidad de las muestras recogidas, por el método del polvo cristalino. Dichas muestras fueron sometidas previamente a molienda en un mortero mecánico, homogeneizadas y tamizadas por el tamiz 270 de la serie A. S. T. M. correspondiente a un tamaño de partícula inferior a 53 micras.

Los difractogramas se rodaron en un aparato Philips modelo 1130-1050-1051, equipado con un contador de centelleo y unidad discriminadora. La radiación empleada fue la K_{α} del Cu, con filtro de Ni; se trabajó a 25 mA y 35 KV. La velocidad de exploración fue en todos los casos de 2° /min, la rendija empleada de 0,1 mm. la constante de tiempo de 2 sg. y la velocidad de papel de 800 mm/h. El intervalo de exploración fue siempre de 2 a 70° .

Con las fracciones menores de 20 micras, se prepararon agregados orientados, según el método ligeramente reformado de BRADLEY, GRIM y CLARK (1.937) y NAGELSCHMIDT (1.941), dejando evaporar una suspensión del 2% de muestra en agua sobre un cristal de 4 cm. de lado y 2 mm. de espesor, en el cual se han depositado unas gotitas de la misma.

Este estudio ha tenido siempre como objeto el lograr una

mejor identificación de los filosilicatos presentes en la muestra.

Para la identificación de las distintas fases se utilizaron fundamentalmente las fichas A. S. T. M., los datos recogidos por BROWN (1. 961) y los trabajos de HEY (1. 954), SCHOEN (1. 962), PETRUCK (1. 964) y BAILEY (1. 972) para la identificación de las cloritas.

Para la determinación del tipo de clorita existen diversos métodos difractométricos basados en la exacta medida de los parámetros b y c. Teniendo en cuenta las recomendaciones de BAILEY (1. 972) se ha empleado el método de BRINDLEY (1. 961) para la medida del número de átomos de Al de la capa tetraédrica, que se obtiene mediante la ecuación:

$$d(001) = 14,55 \text{ \AA} - 0,29 X$$

donde X = nº de átomos de Al tetraédrico. El Al octaédrico se ha calculado a partir de la ecuación de ALBEE (1. 962):

$$d(001) = 14,52 \text{ \AA} - 0,14 X$$

donde $X = Al^{IV} + Al^{VI} + Cr$. El número de átomos de Fe^{2+} se ha calculado a partir de la ecuación de Von ENGLEHARDT (1. 942):

$$b = 9,22 \text{ \AA} + 0,028 Fe^{2+}$$

El parámetro b se obtiene multiplicando por 6 el valor de d(060).

A partir de los resultados anteriores y empleando los diagramas de HEY (1. 954), es posible clasificar las diversas cloritas estudiadas a partir de la relación $\frac{Fe}{Fe+Mg}$ y el número de átomos

de silicio por celdilla unidad.

Por el método de PETRUK (1. 964) se calcula el grado de asimetría de acuerdo con la relación $I_{002} + I_{004} / I_{003}$ corregida (1) obteniéndose el número de átomos pesados que hay en la capa octaédrica de la clorita, y según el método de POZZUOLI et al (1973) se puede determinar el poder reflectante para el tipo de clorita estudiado. En estos yacimientos, dado que el tipo de clorita estudiado corresponde dentro de la clasificación de HEY (1. 954) a talco-clorita, se obtiene un poder reflectante para la reflexión (003) (4, 79 Å) de 0, 50.

Para la identificación de la serpentina se ha utilizado, además de las fichas A. S. T. M., los trabajos realizados por BROWN (1. 961), DELGADO RODRIGUEZ (1. 956), WHITTAKER y ZUSSMAN (1. 956), BASTA y ABELKADER (1. 969) y BRINDLEY y SOUZA SANTOS (1. 971). Se ha usado gel de sílice como diluyente, en proporciones entre el 40 y el 60 %, para evitar la orientación de la serpentina. Los difractogramas han sido rodados a 1°/min. En estas condiciones se ha caracterizado la serpentina como variedad antigorita.

B. - Análisis cuantitativo: Para realizar el análisis cuantitativo de las muestras de los yacimientos estudiados, se ha puesto a punto un método mediante el cual se determinan los porcentajes de los minerales esenciales, esto es de talco, clorita y serpentina. No se han cuantificado aquellos minerales que se encuentran como accesorios en pequeña proporción, por lo que el análisis efectuado no puede considerarse como un análisis cuantitativo total.

El análisis cuantitativo de fases cristalinas por difrac-

$$(1) I_{003} \text{ corregida} = I_{003} \text{ asimétrica} \times \frac{55,5^2}{(55,5 - \text{"grado asimetría"} \times 12,3)^2}$$

ción de Rayos-X en muestras complejas de polvo, se basa en el hecho de que la intensidad del diagrama de difracción de cada una de ellas depende de su concentración en la muestra. El problema fundamental reside en la estimación de la intensidad difractada. En numerosos trabajos se ha discutido lo procedente o improcedente de estimar los porcentajes a partir de las alturas o áreas de los efectos de difracción, ya sea sobre registro gráfico o mediante procedimiento de conteo de impulsos, discutiéndose incluso el sistema de medida. La justificación del tipo de medida de intensidades sugerido por diversos autores, se basa normalmente en la reproductibilidad de la medida frente a variaciones en los numerosos factores que afectan a la intensidad difractada, factores que a veces sólo son considerados aisladamente y en cuyas variaciones está la fuente de error.

Con el método de standard interno, dentro del análisis cuantitativo por difracción de Rayos-X, pueden obtenerse resultados satisfactorios utilizando como parámetro para estimar la intensidad difractada, la altura del pico de difracción sobre el registro gráfico.

Este método bajo condiciones de trabajo como las seguidas aquí es rápido e inmediato para el análisis cuantitativo de fases minerales, siempre que se disponga de la curva de calibrado correspondiente. En nuestro caso, estas curvas se han obtenido partiendo de mezclas con proporciones variables de talco y serpentina y empleando como standard moscovita, el análisis químico de este mineral ha dado los siguientes porcentajes:

Moscovita

SiO₂..... 43,90

Al₂O₃ 38

MgO	0,20
CaO	0,28
Fe ₂ O ₃	0,40
K ₂ O	7,25
Na ₂ O	0,40
H ₂ O	4,5
Suma total	98,21

Las muestras empleadas y sus proporciones han sido las siguientes:

	Moscovita	Talco	Serpentina
Mezcla 1	50	40	10
Mezcla 2	50	30	20
Mezcla 3	50	20	30
Mezcla 4	50	10	40

En las figuras 4 y 5 se representan las relaciones $\frac{I_{\text{Talco}}}{I_{\text{Moscovita}}}$ e $\frac{I_{\text{Talco}}}{I_{\text{Serpentina}}}$ en función del % del talco presente en

las mezclas. Las intensidades se han calculado midiendo las alturas de las reflexiones: talco (001) (9,4 Å), serpentina (001)(7,3 Å), moscovita (002)(9,94 Å), a partir de sus diagramas de polvo.

En las mismas figuras se representan las ecuaciones de regresión de las rectas obtenidas por el método de mínimos cuadrados. La pequeña ordenada en el origen obtenida en ambos casos confirma la linealidad de la experiencia.

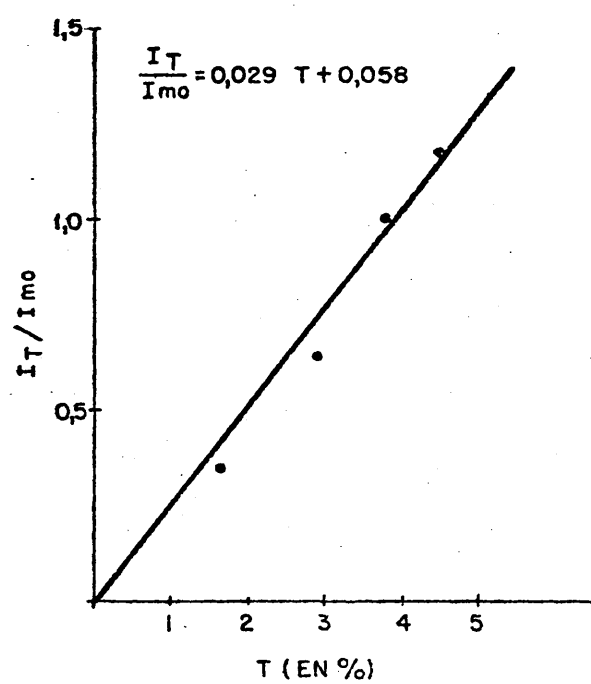


Fig. 4.

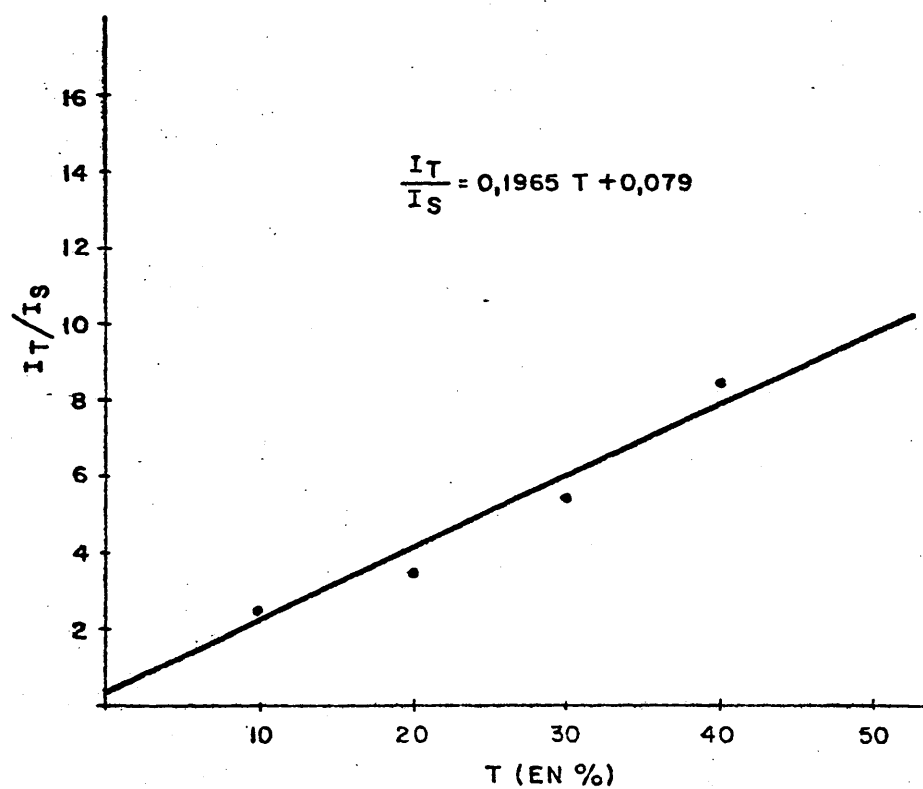


Fig. 5.

El % de error en la determinación se ha calculado por el método usual, empleando como variables la medida de las intensidades y usando para el error cuadrático medio la expresión:

$$M = \sqrt{\frac{\sum \delta^2}{n(n-1)}}$$

en la que $\delta = I_{\text{experimental}} - I_{\text{teórica}}$ y $n = \text{nº de términos considerados}$.

Para la recta de la fig. 5 se ha obtenido un error probable cuyo resultado es del 4,2 %, valor que está dentro de los límites establecidos por AYLLON (1. 975) para la aplicación de este método.

Para conseguir mayor rapidez en la determinación cuantitativa de las fases minerales se han calculado las relaciones de intensidad entre talco-serpentina y talco-moscovita, ambas en proporción 1:1. A esta relación se le denomina poder reflectante y, para normalizar los valores obtenidos, se ha calculado la misma relación en una mezcla moscovita-caolinita, ya que es aceptado internacionalmente como 1 el poder reflectante de la caolinita. En la tabla se dan los valores obtenidos para los poderes reflectantes de los minerales estudiados.

Minerales	Espaciados	Reflexión	Poder Reflectante
Talco	9,4	001	4,94
Serpentina	7,3	001	0,98
Moscovita	9,94	002	3,8
Caolinita	7,1	001	1

Para la cbrita se han utilizado los valores de 0,5 en diagramas de agregados orientados y 0,4 en diagramas de polvo para la reflexión (003) ($4,79 \text{ \AA}$) de acuerdo con los resultados de POZZUOLI et al. (1.973) calculados en función de los átomos pesados presentes en la capa octaédrica del término talco-clorita. En el caso de la tremolita se ha empleado el valor de 0,6 para la reflexión (110) a ($8,4 \text{ \AA}$), calculado por LOPEZ AGUAYO et al. (1.974), precisamente para muestras del yacimiento "Costa del Sol".

4.2.1.2. Análisis termogravimétrico

Esta técnica nos suministra datos sobre las pérdidas de peso que experimentan las muestras al ser calentadas de forma continuada y con un incremento constante de la temperatura. Su uso es adecuado para minerales que contienen agua (OH), o componentes volátiles que puedan desprenderse en el proceso de calefacción. Es una técnica muy utilizada en el estudio de filosilicatos de cuyo uso se puede, en ciertos casos, deducir la cantidad de mineral presente en la muestra analizada a partir de la pérdida de peso.

Para la obtención de los termogramas se ha utilizado un equipo de análisis térmico de la Technical Equipment Corporation, modelo D-400, provisto de una termobalanza Cahn, de $0,2 \text{ cm}^3$, como soporte de la muestra. La velocidad de calentamiento ha sido de 10°C por minuto. La cantidad de muestra empleada ha sido de 10 mg. aproximadamente, realizando las experiencias en atmósfera estática de aire.

Para el talco de Tíjola, Almería, ALEIXANDRE y ALVAREZ ESTRADA (1.949) encontraron una pérdida total de agua entre los 800 y 1.100°C de 4,98 % sobre la muestra total. De acuerdo con la composición química de este mineral, la pérdida teórica esperada es de 4,75 %.

Según MACKENZIE (1.957), la descomposición térmica de las cloritas ocurre en 2 etapas: entre 400 y 525°C, que corresponde a la deshidroxilación de la capa brucítica y entre 500 y 800°C, debido a la deshidroxilación de la capa de mica.

CAILLERE y HENIN (en MACKENZIE, 1.957) calculan que la deshidroxilación de la serpentina empieza a los 600°C para terminar entre 700 y 800°C, pudiendo darse variaciones si presentan impurezas, sobre todo por la presencia de óxidos de hierro.

De acuerdo con estos datos, para la determinación cuantitativa a partir de la curva termogravimétrica, se ha dividido en 3 intervalos de temperatura:

1º. - De 25-200°C correspondiente al agua absorbida, incluida la zeolítica.

2º. - Desde 250°C-700°C (en la mayoría de las curvas con pendiente pronunciada) que corresponde a la deshidroxilación de la serpentina y a la 1ª etapa de la clorita.

En muestras puras de serpentina de estos yacimientos se ha encontrado para esta pérdida un valor de 10,84 %. En el caso de la clorita se ha asignado a la pérdida máxima el valor de 9,74 % calculado teóricamente a partir de la fórmula de la talco-clorita.

3º. - A partir de los 750°C comienza la deshidroxilación del talco y la etapa final de la clorita. Para la máxima pérdida, en el talco consideramos el valor teórico de 4,74 % de acuerdo con su fórmula y para la clorita de 3,24 %, que corresponde al término talco-clorita.

Para establecer los % presentes en mezclas de los tres minerales, pueden emplearse las ecuaciones generales siguientes:

$$4,74 x + 3,24 y = A$$

$$9,74 y + 10,84 z = B$$

$$x + y + z = 100$$

Donde: x = % talco; y = % clorita y z = % serpentina.
B = % Pérdida en el intervalo 200-700° y A = % Pérdida en el intervalo 700-1000°.

4.2.1.3. Espectroscopía de infrarrojos

Con objeto de estudiar las posibles sustituciones de Mg por cationes pesados (fundamentalmente Fe, Ni, Cr, etc.) en la capa octaédrica de los talcos y serpentinas se ha recurrido a la espectroscopía de infrarrojos. Así mismo, esta técnica se ha usado también para análisis mineralógicos cualitativos.

Se han obtenido espectros de infrarrojos de muestras seleccionadas de cada yacimiento utilizando un aparato Perkin Elmer modelo 225 con doble haz. Las muestras han sido preparadas con BrK y, para el estudio de la región entre 4.000 y 3.200 cm⁻¹, las muestras fueron preparadas con fluorolube como diluyente. Para la identificación e interpretación de las curvas de IR se han tenido en cuenta especialmente los trabajos de STUBICAN y ROY (1.961), WILKINS e ITO (1.967) y RUSSELL, FARMER y VELDE (1.970), como así mismo el atlas de Van der MAREL y BEUTELSPACHER (1.976) y los datos recopilados por GASDEN (1975).

4.2.1.4. Microscopía electrónica

Una serie de muestras representativas de cada yacimiento se han observado por microscopía electrónica para identificar fases que por las técnicas anteriores podían ofrecer dudas. Sin embargo, al contrario de lo que ocurre con otros minerales de la arcilla, la morfología del talco no es exclusiva para este mineral. Para la serpentina, por el contrario, es muy útil ya que puede llegarse a la determinación del tipo de serpentina que se está estudiando y a la medida de características tales como longitud y anchura de las fibras, que tienen indudable interés técnico.

La observación y obtención de microfotografía de las muestras se ha hecho utilizando los microscopios electrónicos Philips modelos E. M. 300 y E. M. 200. Se han estudiado en visión directa previa dispersión en agua destilada con ultrasonido, y preparadas mediante la técnica habitual.

4.2.1.5. Microscopía de luz transmitida

En cada yacimiento se ha seleccionado una serie de muestras para su estudio óptico, especialmente de las rocas encajantes del talco, de algunas serpentinatas talquíferas y de talcos en los que el grado de alteración y dureza han permitido su preparación en lámina delgada.

Se ha utilizado un microscopio modelo Junior Pol de la casa Zeiss. De los aspectos más importantes de las láminas delgadas estudiadas, se han obtenido fotografías mediante un fotomicroscopio Zeiss.

Esta técnica de análisis mineralógico ha sido muy útil particularmente para la identificación de minerales accesorios que

no fueron determinados por difracción de Rayos-X. Pero en general, dado el grado de alteración en que se encuentran las muestras estudiadas, por su transformación en talco, el estudio y la medida de propiedades ópticas se ha visto dificultado. Sin embargo, para el estudio de las relaciones paragenéticas, sucesiones, alteraciones y texturas, este tipo de análisis ha sido decisivo.

4.2.1.6. Microscopía de luz reflejada

De los minerales metálicos que aparecen en la masa talquizada, se han preparado probetas pulidas para la observación con el microscopio de luz reflejada.

Dado el pequeño tamaño de las menas metálicas así como el grado de alteración que presentan, los datos obtenidos sirven sólo como complemento.

4.2.2. Análisis Químico

La estimación cualitativa y cuantitativa de los elementos mayoritarios y de algunos minoritarios, así como de las sustituciones que existen en los minerales se ha efectuado mediante:

- 1) Fluorescencia de Rayos-X.
- 2) Análisis químico por vía húmeda.
- 3) Microsonda electrónica.

4.2.2.1. Fluorescencia de Rayos-X

Esta técnica se ha utilizado para la detección y cuantificación relativa de los elementos Ni, Fe, Cu, Mn, Ca, Al, Mg, Na, K y Si, que hay en las muestras.

Para la preparación de las pastillas se utilizaron aproximadamente 3 gr. de polvo, homogeneizados y tamizados por

el tamiz 270 de la serie A. S. T. M. correspondiente a un tamaño de partícula inferior a 53μ . Se compactó en una prensa Herzog, modelo HTP-20 empleándose una carga máxima de 18.000 Kg. repartida sobre la superficie de la muestra.

Los diagramas se obtuvieron en un espectrómetro Philips semi-automático, modelo PW-1410 de tres Kw y un generador modelo PW 1140.

Los elementos pesados fueron analizados con un cristal analizador de LiF (200) y se utilizó el KAP para los elementos ligeros. Siempre que ha sido posible se analizaron los elementos utilizando sus líneas características de intensidad más elevada (K para elementos con $Z < 56$ y L_{α} para elementos con $Z > 56$). Se han utilizado detectores de centelleo y el detector proporcional de flujo gaseoso. El contador de centelleo se empleó en elementos con longitudes de onda cortas (nº atómico mayor que 22) y el contador de flujo para longitudes de onda largas (nº atómico menor que 22).

Se ha trabajado en vacío para evitar la absorción por el aire de la radiación emitida por los elementos ligeros (radiaciones blandas con bajo poder de penetración).

Considerando la dispersión de los cristales analizadores utilizados y su reflectividad, se han empleado los colimadores fino 0,15 mm y grueso 0,55 mm. El colimador fino se ha aplicado a líneas $\lambda < 2,5 \text{ \AA}$ y el colimador grueso a $\lambda > 4 \text{ \AA}$.

La discriminación fue usada para mejorar las constantes analíticas y no para eliminar interferencias de líneas características de distinto orden.

Con el fin de minimizar los errores estadísticos de con-

taje, se eligió el tiempo de 100 segundos para efectuar todas las medidas de intensidades. Para todos los elementos se han realizado cinco determinaciones, habiendo sido efectuadas las correspondientes correcciones de fondo. En la tabla 4 se consignan las condiciones particulares de trabajo empleadas para cada elemento.

TABLA 4

Condiciones de trabajo empleadas en el espectrómetro F. R. X.

Elemento	Tubo	Cristal	Contador	KV	mA	Vacío	Colimador
Fe	Cr	FLi	FL + C	30	20	no	fino
Ni	Cr	FLi	FL	60	40	no	fino
Cu	Cr	FLi	FL	60	40	si	fino
Ca	Cr	PE	FL	60	40	si	grueso
Al	Cr	KAP	FL	60	40	si	grueso
Mg	Cr	ADP	FL	60	40	si	grueso
Si	Cr	PE	FL	60	40	si	grueso

Con objeto de estudiar la distribución relativa de los elementos en cada yacimiento se ha realizado una determinación cuantitativa de éstos por fluorescencia de Rayos-X. Para resolver el problema que plantea el diferente efecto matriz entre las muestras y los patrones standard, se han empleado precisamente las muestras M-26 y M-33 como patrones, previamente determinada su composición por análisis químico, según los métodos descritos en el siguiente apartado.

4.2.2.2. Análisis químico por vía húmeda

La disolución de las muestras se ha llevado a cabo por los métodos usuales: fusión alcalina con CO_3Na_2 y disgregación

ácida con mezcla fluorhídrica-sulfúrica (VOINOVICH, 1. 964).

La estimación cuantitativa de Ni, Cu, Mn, Ca, Fe, Al, Mg, Na, K, se ha realizado en espectrofotómetro de absorción atómica PYE UNICAN, modelo SP-90, con prisma de cuarzo y un solo haz, usando llamas de aire acetileno y nitroso-acetileno. La determinación de Na y K se ha realizado en el mismo aparato de emisión.

Con objeto de disminuir los errores operacionales de pesada y dilución, se ha empleado $0,7000 \pm 0,0001$ gr. de muestra, que una vez disuelta se llevó en un matraz aforado a 500 ml, resultando entonces una concentración de catión divalente en las disoluciones de 20 a 25 ppm, y de catión monovalente de 15 a 20 ppm, intervalo óptimo para la determinación, según aconseja el manual del aparato.

Para evitar en lo posible errores debidos al efecto matriz, se han preparado los distintos patrones de los elementos usando silicatos naturales.

Para la determinación de SiO_2 , se sometió otra porción de muestra a fusión alcalina con NaOH, solubilizándose la sílice y formando a continuación el complejo reducido sílico-molibdico (color azul) en el que se determinó la densidad de la solución coloreada, en un espectrofotocolorímetro.

4.2.2.3. Microsonda electrónica

Con el fin de determinar la naturaleza exacta de las sustituciones de Mg por cationes pesados en las capas octaédricas, de talcos y serpentinas evidenciados por infrarrojos, se han analizado muestras prácticamente puras de estos minerales por micro-

sonda electrónica. Se ha empleado para dichos análisis una micro-sonda Jeol modelo 50.A.

V. ESTUDIO DE LOS YACIMIENTOS

5.1. Area. Sierra de Alpujata

A. - Yacimientos asociados a fracturas en contacto con gneises y pizarras arcillosas

5.1.1. Yacimiento POR FIN

a) Descripción y materiales estudiados

El yacimiento se encuentra enclavado al sur del arroyo de los Toros en el cuadrante NW de la Hoja nº 1066 del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000 (Coin). Las coordenadas medias son: Longitud $4^{\circ} 44' 19,8''$ y Latitud $36^{\circ} 35' 15''$.

El yacimiento se encuentra en una fractura de dirección N- 20° E y de unos 75° de inclinación al W que pone en contacto serpentinas alteradas con una formación constituida por pizarras negras arcillosas y algunos gneises subordinados. Desde el hastial NW hasta la zona de talco masivo se observa una progresiva alteración de la serpentina. Hacia el hastial SE, los bloques de serpentina disminuyen de tamaño y se hacen menos frecuentes, llegando a desaparecer por completo. Sobre el plano de falla se observa que en el hastial SE quedan pequeños fragmentos de serpentina sin transformar en talco. El talco masivo ocupa la zona intermedia.

La potencia de talco masivo es de 4-5 m.. La zona de serpentina alterada y talco varía entre 10 y 15 metros.

De los yacimientos estudiados es el único que se encuentra actualmente en explotación. Se trabaja a cielo abierto, arrancando el material mediante explosivos y palas mecánicas (Fig. 6).



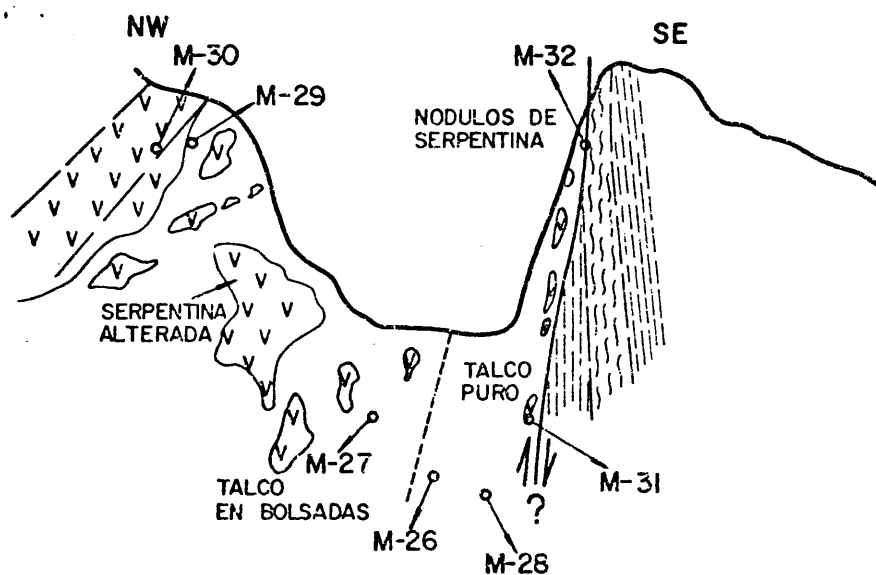
Yacimiento Por Fín. Aspecto general de la explotación.



Detalle de la mineralización.

Fig. 6.

YACIMIENTO POR FIN



0 2 m.

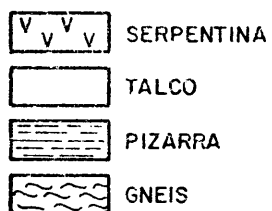


Fig. 6.

El muestreo ha comprendido, como en todos los casos, a los materiales encajantes, en el contacto y a unos metros de contacto, y de un hastial a otro de las mineralizaciones, siempre que el acceso lo ha permitido.

Para evitar una descripción exhaustiva de las muestras recogidas y puesto que en general no se aprecian variaciones "de visu" suficientemente grandes entre ellas, -lo que en principio parece lógico teniendo en cuenta la relativa homogeneidad de los yacimientos-, se ha preferido representar de una manera esquemática las características que parecen más significativas, bien por ser las más destacables a simple vista o porque muestran las variaciones más acusadas de una muestra a otra.

En la descripción se ha atendido a caracteres como el color, bastante variable, desde blanco en las muestras de talco a verde muy oscuro en las serpentinas; textura, bastante uniforme en general, aunque a "grosso modo" pueden distinguirse las que presentan las muestras totalmente talquizadas, deleznable y en láminas, las que contenían minerales fibrosos y las de las serpentinas encajantes con sus diferentes grados de alteración y estructura, que si bien en general es masiva, algunas muestras se presentan en forma de nódulos de diferentes tamaños y con fisuras.

En la tabla 5 se resumen, siguiendo los criterios anteriormente expuestos, las características de "visu" más representativas de las diferentes muestras de cada yacimiento muestreado, así como la posición de la muestra en el filón.

El orden de las descripciones de las muestras se ha establecido desde un extremo del yacimiento al otro hastial mineralizado.

TABLA 5

YACIMIENTO POR FIN				Situación de la muestra en el yacimiento
Muestra	Color	Caracteres Estructurales	Caracteres Texturales	
M-30	Verde-oscuro	Masiva	Compacta, con fisuras de carbonatos bien cristalizados que atraviesan la roca; con la lupa se observan concreciones pseudo circulares mezcladas con la masa talquizada. También hay nódulos de serpentina más duros en fase de transformación.	Hastial
M-29	Verde claro	Masiva	Compacta, nódulos, con multitud de grietas rellenas de carbonatos. Los nódulos talquizados presentan un brillo sedoso con gran suavidad.	Contacto con el hastial.
M-27	Blanco verdoso	Masiva	Aspecto deleznable, forman pequeñas capas totalmente talquizadas. Siguen apareciendo nódulos de materiales más duros cubiertos de una pátina suave al tacto y totalmente talquizados.	Masa explotada

TABLA 5 (continuación)

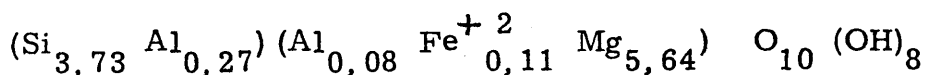
Muestra	Color	Caracteres Estructurales	Caracteres Texturales	Situación de la muestra en el yacimiento
M-26	Blanco verdoso	Masiva	Talco compacto, suave al tacto, con tamaño de cristal microscópico.	Masa explotada
M-28	Blanco verdoso	Masiva	Material deleznable, el talco rodea a bloques de serpentina que pueden medir hasta 60 cm. de diámetro y se encuentran en diferentes grados de transformación.	Masa explotada
M-31	Amarillo crema	Masiva	Muy compacta y cristalina. Tamaño de cristal heterogéneo. Muy dura.	Contacto con el hastial.
M-32	Amarillo crema	Masiva	Compacta, cristalina. Tamaño de cristal medio. Muy dura.	Hastial
M-33	Verde oliva	Masiva	Algo compacta, tamaño de cristal medio. Muy alterada superficialmente.	A unos metros del yacimiento.

b) Resultados experimentales y discusión

En la tabla 6 se recogen los resultados del análisis mineralógico por difracción de Rayos-X. Como puede observarse los minerales fundamentales son: talco, clorita, serpentina y carbonatos, apareciendo indicios de mica y tremolita. En la muestra M-33 aparece cuarzo en grandes cantidades, debido a la existencia de numerosos filoncillos que atraviesan las rocas serpentínicas de la zona.

La distribución mineralógica a lo largo del yacimiento se presenta en la figura 7, de forma que la posición de las muestras corresponde a la situación espacial en el yacimiento. De ella podemos deducir que los carbonatos se sitúan preferentemente en los hastiales, la clorita y la serpentina presentan una relación inversa, pero ambas aparecen relacionadas con el talco en la parte central del yacimiento. La variación mineralógica, exceptuando la relación inversa en orden de aparición de la clorita y serpentina, es bastante simétrica.

El tipo de clorita se ha determinado en la muestra M-28 según el método PETRUCK (1.964) descrito anteriormente, y corresponde al término talco-clorita, según la clasificación de HEY (1.954). La fórmula de esta clorita es la siguiente:



El tipo de serpentina que se encuentra en el yacimiento corresponde a la variedad antigorita, determinada por difracción de Rayos-X.

Para comprobar los resultados obtenidos del análisis cuantitativo por difracción de Rayos-X, se ha cuantificado también la mineralogía de la muestra M-26 a partir de los datos obtenidos por el estudio termoponderal. En la tabla 10 se muestra com-

COMPOSICION MINERALOGICA CUANTITATIVA POR DIFRACCION DE RAYOS-X

YACIMIENTO POR FIN

Muestra	Talco	Clorita	Serpentina	Dolomita	Magnetita	Cuarzo	Mica	Tremolita
M-30	15	35	-	40	10	-	-	-
M-29	30	35	-	35	-	-	-	-
M-27	40	-	60	-	-	-	-	-
M-26	90	10	-	-	-	-	Indicios	Indicios
M-28	30	70	-	-	-	-	-	-
M-31	10	15	15	5	55	-	-	-
M-32	5	-	-	-	95	-	-	-
M-33	15	20	25	-	-	40	-	-

TABLA 6

COMPOSICION MINERALOGICA

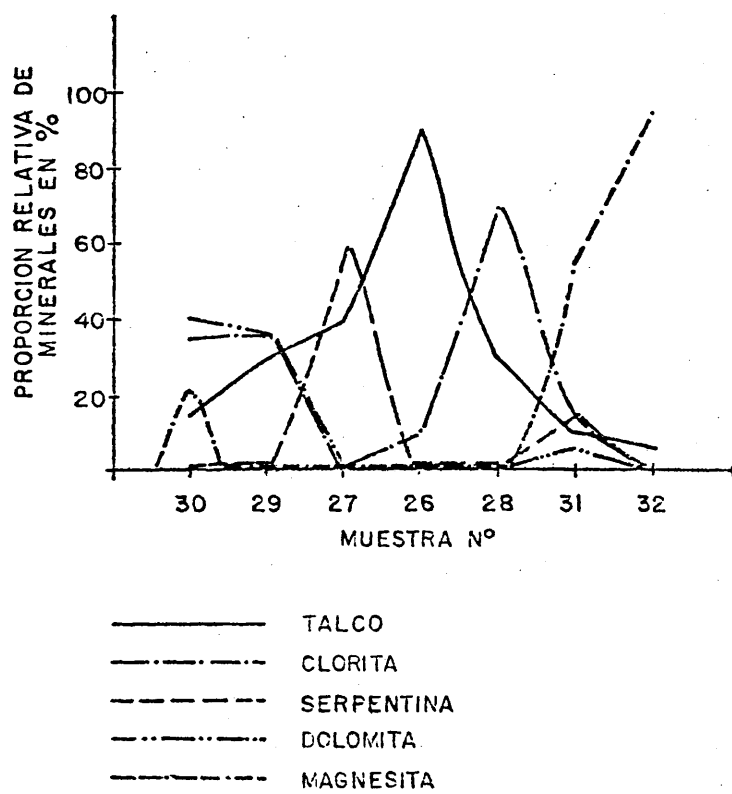


Fig. 7.

parativamente los resultados de difracción de Rayos-X y termogravimetría.

En la figura 8 se representa el análisis termoponderal de la muestra M-26. La descomposición térmica ocurre en dos etapas, entre 600-700°C y 900-1000°C que corresponden sucesivamente a la descomposición de la clorita y el talco. Las determinaciones de la pérdida de peso en ambas etapas dan para la primera un valor de 0,48 % que, teniendo en cuenta la fórmula anteriormente propuesta para la clorita corresponde a un 5% de clorita. La pérdida para el segundo escalón representa un 4,66%, teniendo en cuenta que la pérdida teórica para un talco ideal es del 4,70%, puede estimarse que el contenido en talco es 95%.

En este yacimiento se han seleccionado dos muestras para su análisis por espectroscopía de infrarrojos, la M-26 y M-33. Los diagramas se muestran en las figuras 9 y 10. El espectro correspondiente a la M-26 presenta dos bandas entre 3.674 y 3.659 cm^{-1} características de la agrupación (OH-Mg) y de la agrupación $2\text{Mg}-\text{M}^2$, siendo M un catión pesado que se encuentra sustituyendo parcialmente al magnesio. Para investigar esta región y observar, de acuerdo con los resultados de WILKINS e ITO (1967), las posibles sustituciones de Mg por otros cationes divalentes (Fe, Ni, Mn, Co, etc.), se ha preparado las muestras con fluorolube. (Fig. 9b).

Dado que la variación de frecuencias entre cationes Fe, Ni, Co, Mn.... es muy pequeña, ni aún con este método se puede asegurar el tipo de cationes que sustituyen al Mg, por lo que se ha recurrido a su investigación mediante microsonda electrónica. Según este análisis, son el Fe y Ni, en menor extensión, los cationes pesados que sustituyen al Mg.

En los diagramas de IR se presenta a 1020 cm^{-1} otra

TG M-26

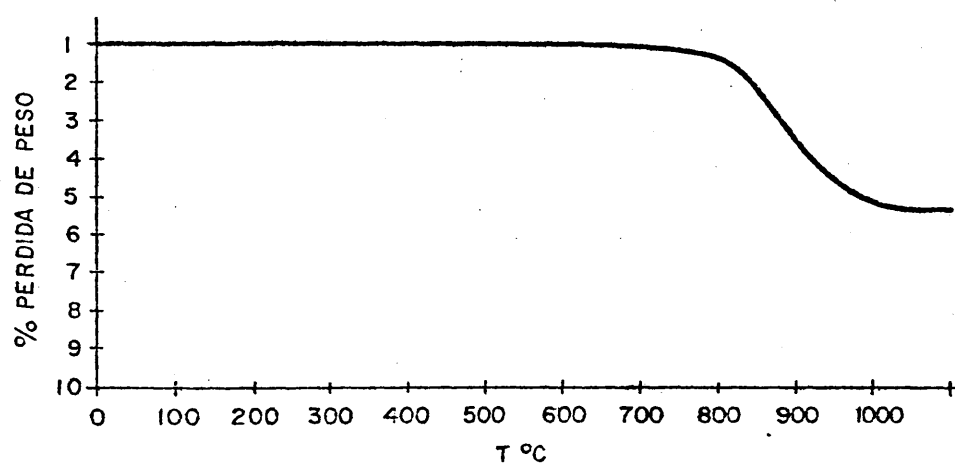
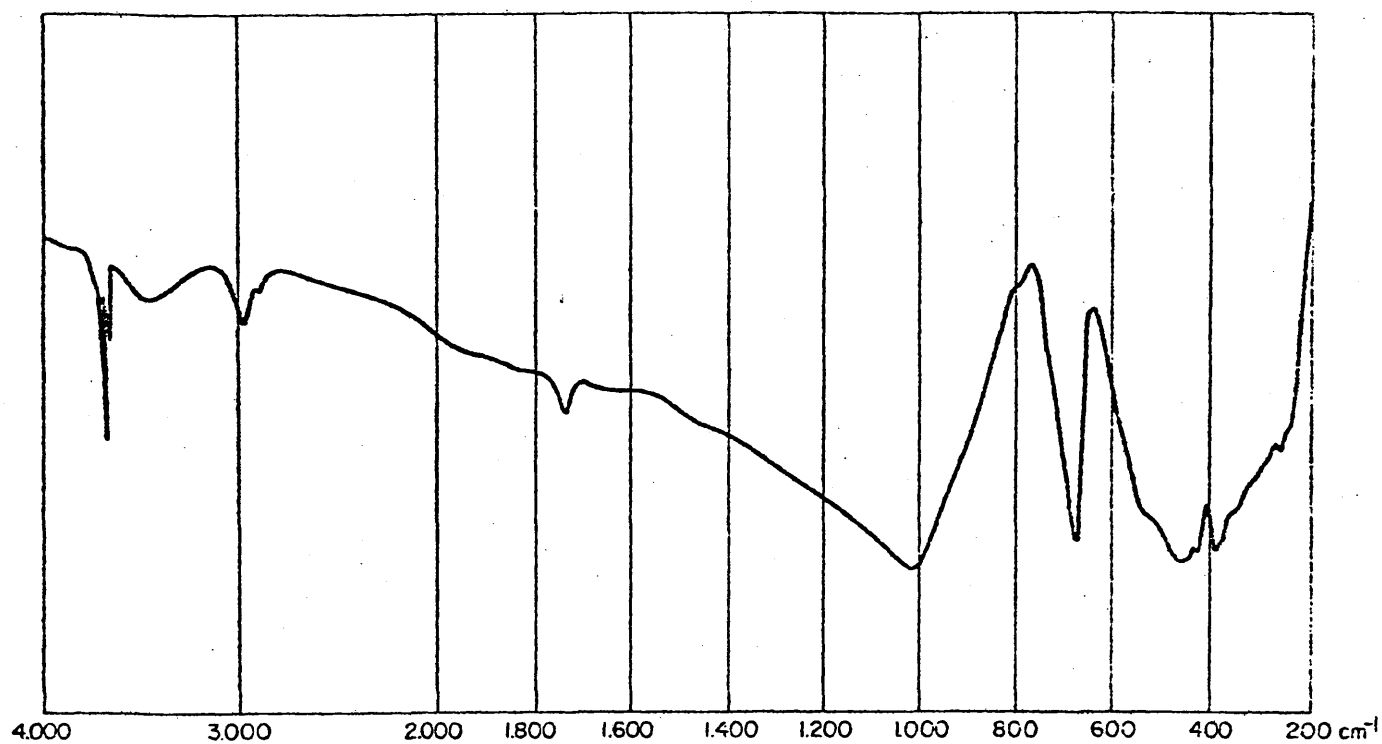


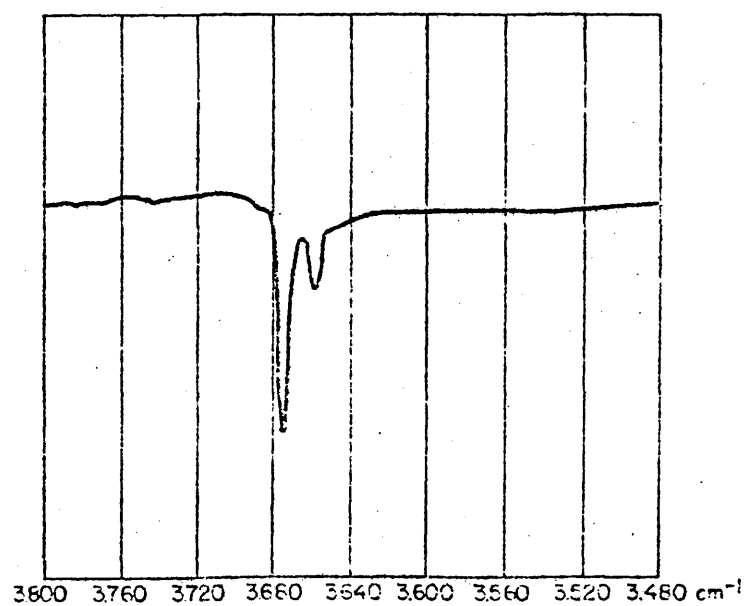
Fig. 8.

ESPECTROS DE INFRARROJOS

MUESTRA N° 26



(a)

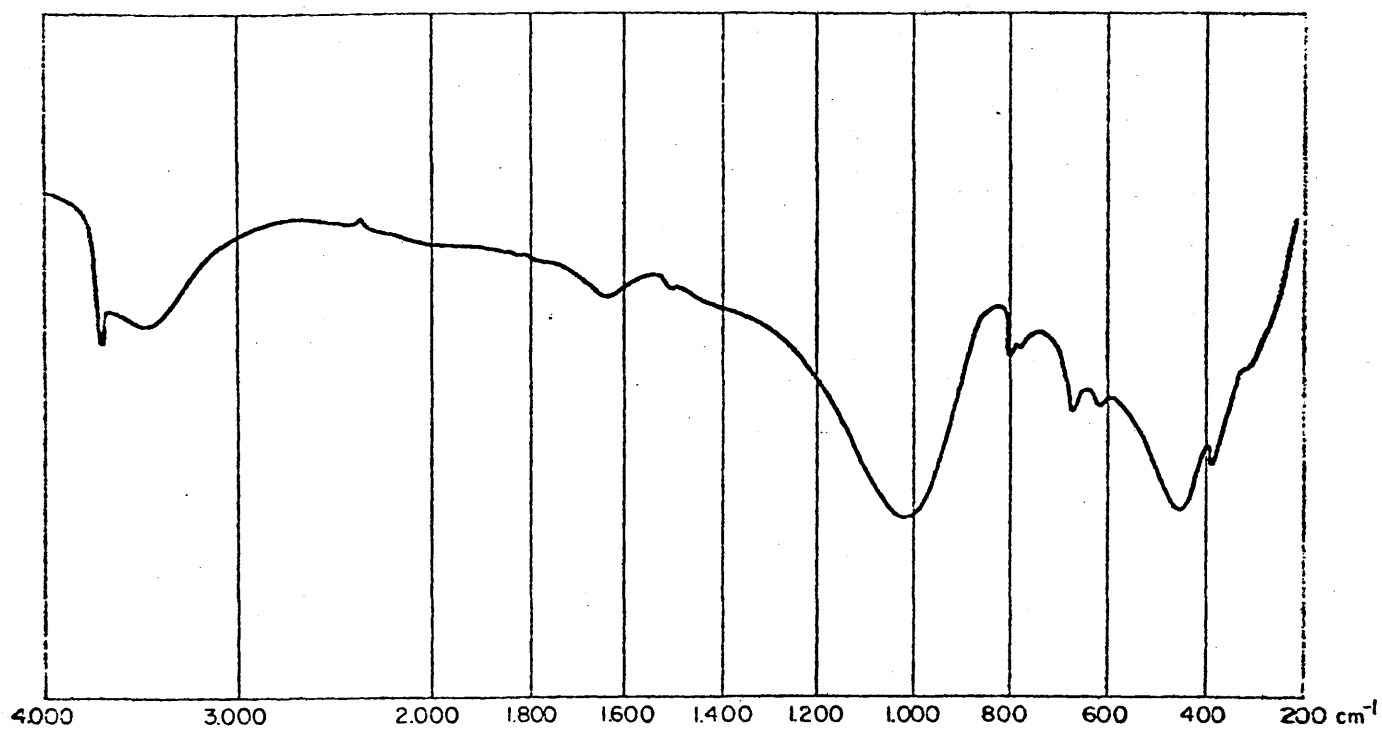


(b)

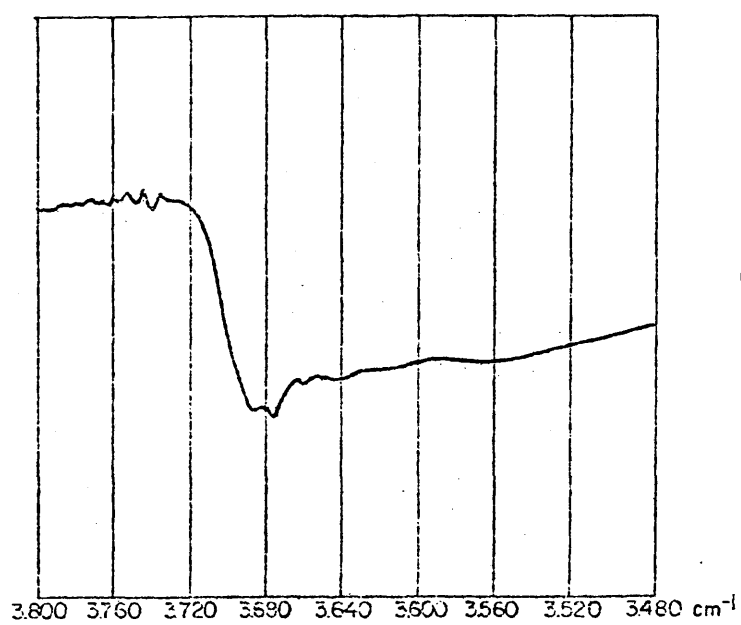
Fig. 9.

ESPECTROS DE INFRARROJOS

MUESTRA N° 33



(a)



(b)

Fig. 10

banda propia de una vibración de tensión de Si-O y una tercera a 685 cm^{-1} correspondiente según RUSSEL et al. (1970) a una vibración de deformación Si-O. Finalmente en la zona entre 600 y 350 cm^{-1} la serie de bandas que aparecen son típicas vibraciones de una capa trioctaédrica. De acuerdo con los datos de STUBICAN y ROY (1961) la banda a 450 cm^{-1} corresponde a una vibración de la agrupación Si-O-Mg^{VI}.

Las bandas que aparecen en los diferentes espectros hacia las 3.400 y 1.630 cm^{-1} son propias del agua que lleva el BrK empleado en la preparación de las pastillas.

El estudio óptico realizado por microscopía de luz reflejada se observa la existencia de abundantes granos de piritas de tamaño pequeño, granos de magnetita muy idiomorfos con alteraciones a óxidos de hierro en los bordes (gohetita). La aparición de espinelas y granos de cromita es muy puntual.

La microscopía de luz transmitida nos aporta datos sobre el contacto del talco y los carbonatos y se observa una textura micrítica con porosidad elevada, de tipo interpartícula, en aquellas rocas carbonatadas en que se ha podido hacer lámina delgada.

Al microscopio electrónico se observa (figura 11), el aspecto micáceo típico no sólo característico del talco. El tamaño de partícula es muy variable, desde cristales de $0,1\text{ mm.}$ hasta cristales de varias micras. En la fig. 11 se pueden observar listones de antigorita mezclados con talcos.

En la tabla 7 se presentan los resultados del análisis químico realizado por fluorescencia de Rayos-X. Para comprobar estos resultados se ha realizado un análisis químico por vía húmeda de las muestras M-26 y M-33 (tablas 8 y 9). Al ser bastante alta la concordancia entre ambos resultados, se justifica el uso de los

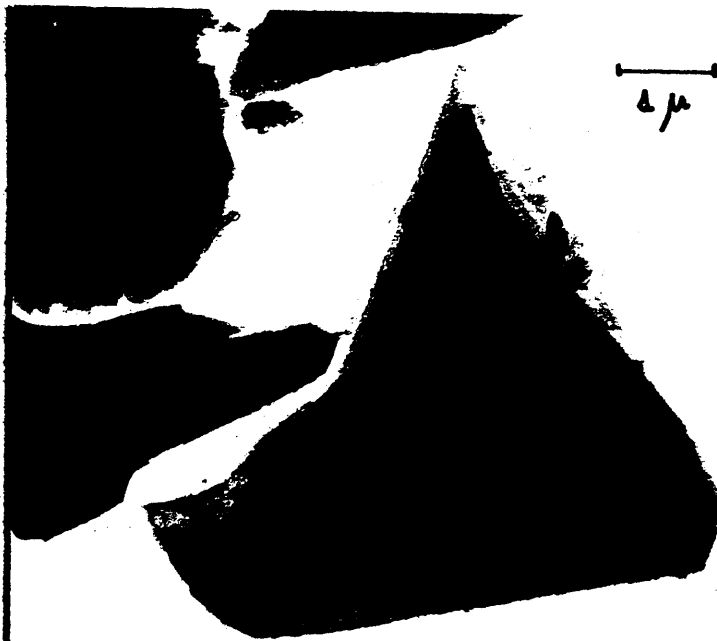


FIG. 11

ANALISIS QUIMICO POR FLUORESCENCIA DE RAYOS-X

YACIMIENTO POR FIN

Muestra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	NiO	CuO
M-30	25,6	13	3,6	15	40	0,22	0,06
M-29	30,6	12	4,1	10	42	0,19	0,06
M-27	54,8	2	4,7	tr.	40	0,21	0,10
M-26	58,6	tr.	1,7	tr.	34	0,18	0,05
M-28	44,2	14	1,7	tr.	36	0,27	0,10
M-31	34,8	9	7,3	3	42	0,13	0,07
M-32	3	8	5,1	2,4	46	0,26	0,04
M-33	65	11	5,5	7	25	0,18	0,14

TABLA 7

ANALISIS QUIMICO

YACIMIENTO POR FIN

M-26

SiO ₂	.....	60,82
Al ₂ O ₃	.....	0,24
Fe ₂ O ₃	.....	0,12
FeO	.....	2,16
NiO	.....	0,178
CuO	.....	0,054
MnO	.....	0,018
MgO	.....	30,54
CaO	.....	0,08
K ₂ O	.....	0,10
Na ₂ O	.....	0,60
H ₂ O _{110°}	.....	0,21
H ₂ O _{1000°}	.....	4,80
Suma total	.....	99,46

Excluyendo a los iones Na, K y Ca al considerar que por tamaño no forman parte de la estructura, se ha calculado por los métodos usuales la siguiente fórmula para el talco del yacimiento Por Fin:

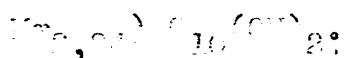
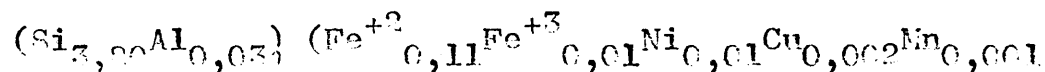


TABLA 8

ANALISIS QUIMICO

YACIMIENTO POR FIN

M-33

SiO ₂	66,25
Al ₂ O ₃	11
Fe ₂ O ₃	6,64
NiO	0,181
CuO	0,031
MnO	0,018
MgO	2,60
CaO	1,53
K ₂ O	2,63
Na ₂ O	1,42
H ₂ O ₁₁₀ ^o	1,44
H ₂ O ₁₀₀₀ ^o	5,88
Suma total	99,78

TABLA 9

ANALISIS CUANTITATIVO POR DIFRACCION DE RAYOS-X Y TERMOGRAVIMETRIA

Muestra	TALCO		CLORITA		SERPENTINA		CUARZO	
	DRX	TG	DRX	TG	DRX	TG	DRX	TG
M-2	50	55	45	40	-	-	5	5 (1)
M-10	60	50	40	50	-	-	-	-
M-18	-	-	-	-	100	100	-	-
M-19	40	35	35	40	-	-	25	25 (1)
M-23	-	-	40	40	-	-	25	25 (1)
M-26	90	95	10	5	-	-	-	-
M-45	60	70	40	30	-	-	-	-
M-61	60	55	25	25	15	20	-	-
M-67	-	-	-	-	95	100	-	-
M-77	25	23	60	65	15	12	-	-

(1) Calculado por diferencia

TABLA 10

resultados obtenidos por fluorescencia de Rayos-X para estudiar la distribución espacial de los elementos a lo largo del yacimiento (Fig. 12).

La distribución de elementos transversalmente al yacimiento sigue una pauta similar a la distribución mineralógica ya comentada. La relación SiO_2/MgO aumenta hacia la zona central lo que representa un proceso de silicificación relativo. Los contenidos en Al_2O_3 y Fe_2O_3 aumentan hacia los hastiales y de forma similar pero no simétrica se comporta el CaO . La variación del NiO es irregular a lo largo del yacimiento.

Mediante la microsonda electrónica, se han podido determinar los cationes pesados que sustituyen al Mg en el talco y en la serpentina, comprobándose que la serpentina presenta hierro en gran proporción y cromo y níquel en trazas mientras el talco tenía mucha menos proporción de hierro, la cantidad de níquel era también más pequeña y el cromo estaba ausente.

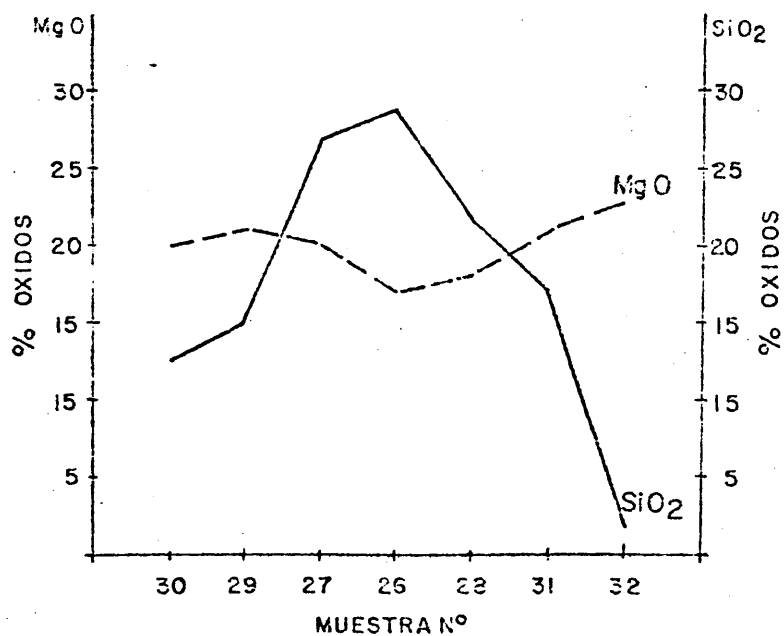
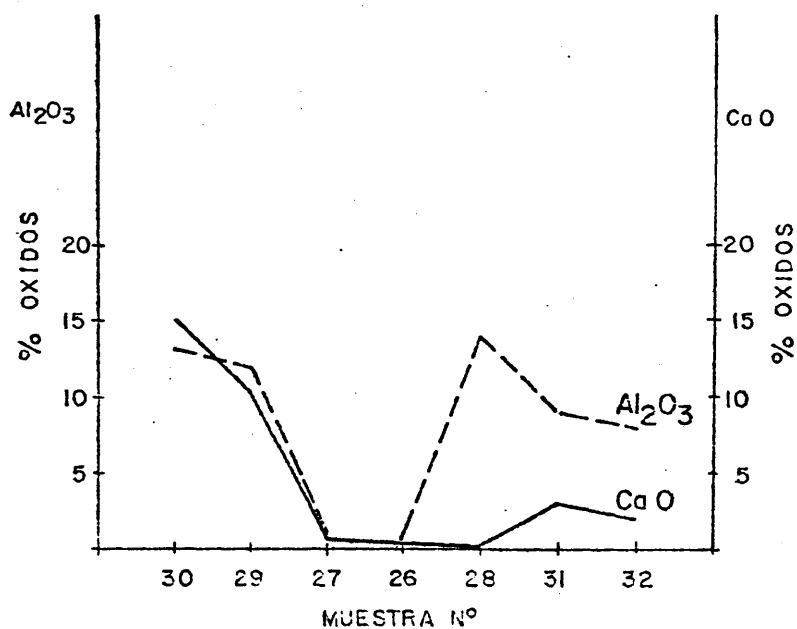
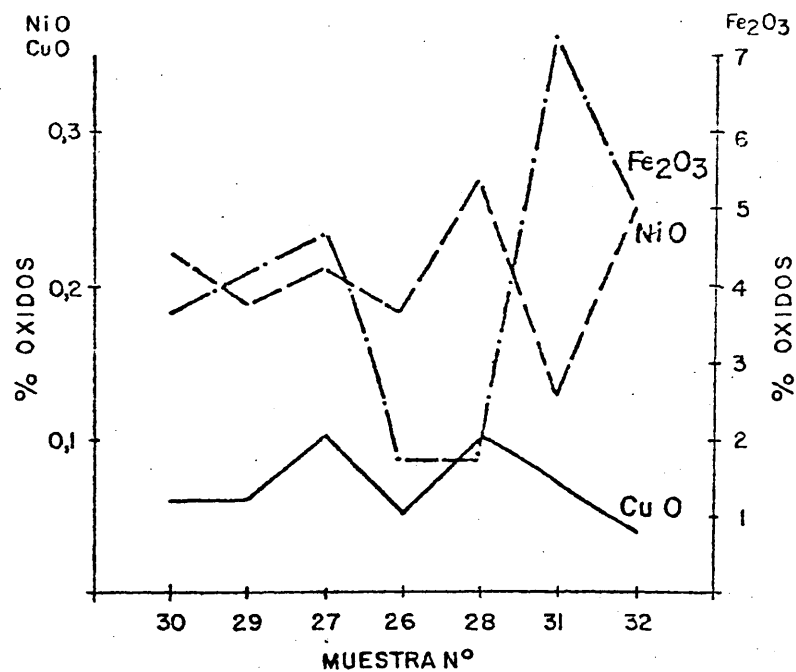


Fig. 12

5.1.2. Yacimiento MARINA

a) Descripción y materiales estudiados

En el cuadrante SW de la hoja 1066 a escala 1:50.000 (Coin) del Mapa Topográfico Nacional, al NW del cerro Chamarro se encuentra localizado el yacimiento con unas coordenadas medias: Longitud $4^{\circ} 44' 19,8''$ y Latitud $36^{\circ} 33' 41,4''$.

La zona mineralizada sigue una fractura de dirección NS, prácticamente vertical que pone en contacto serpentinas muy trituradas con gneises granatíferos ricos en cuarzo y micas negra y blanca, la primera mucho más abundante. A veces se encuentran finos niveles de carbonatos incluidos en los gneises.

El talco se presenta mezclado con fragmentos de serpentina irregularmente transformados.

La potencia de la zona mineralizada es de unos 3 m. y se explotaron aproximadamente 100 m. en longitud.

Hacia el E, dentro de los gneises, hay otra serie de fallas aproximadamente paralelas a la descrita que repiten el contacto entre serpentinas y gneises, pero en ellos la transformación es mucho menor, observándose algunas veces pequeños indicios de talco (Fig. 13).

A continuación se resumen, siguiendo los criterios anteriormente expuestos, las características de "visu" más representativas de las diferentes muestras del yacimiento.

YACIMIENTO MARINA

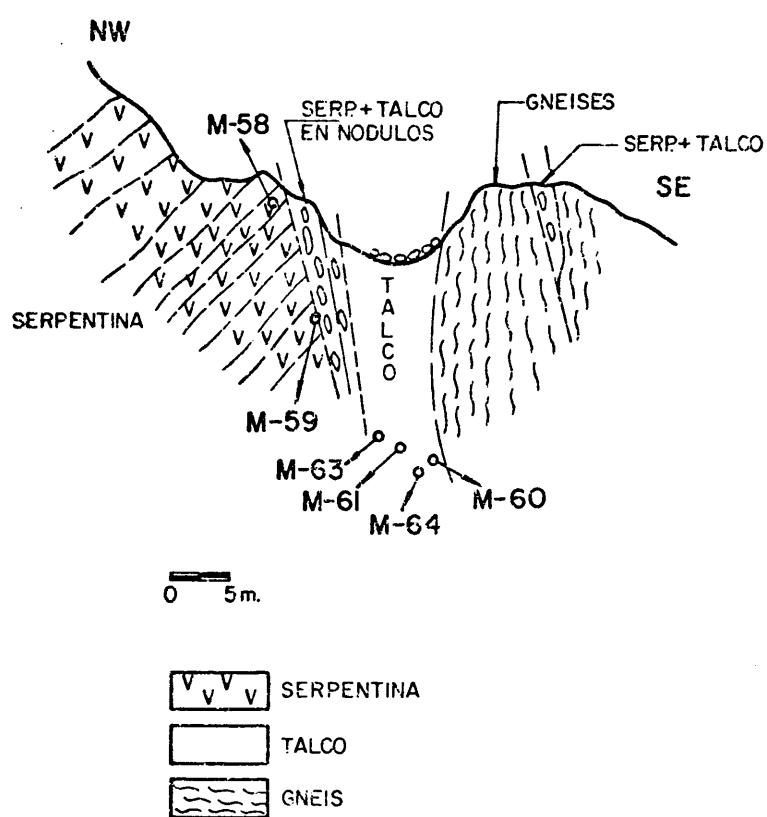


Fig. 13.



Yacimiento Marina. Contacto entre el talco y la roca encajante.

Fig. 13.

TABLA 11

YACIMIENTO MARINA

<u>Muestra</u>	<u>Color</u>	<u>Caracteres Estructurales</u>	<u>Caracteres Texturales</u>	<u>Situación de la muestra en el yacimiento</u>
M-58	Verde claro	Masiva	Compacta cristalina. Tamaño de grano de medio a grueso. La roca está muy fisurada rellena de carbonatos sin dirección preferente. Con gran costra de alteración superficial que le da un aspecto parduzco.	Hastial
M-59	Blanco verdoso	Masiva	Compacta, en algunas zonas más deleznable. Constituida finalmente por cristales de cuarzo de tamaño medio. El cuarzo también aparece en pequeñas venillas microscópicas.	Contacto con el hastial.
M-63	Verde oscuro	Masiva	Compacta con tamaño de grano microscópico. La atraviesan multitud de venillas microscópicas de minerales más claros.	Masa explotada

TABLA 11 (continuación)

Muestra	Color	Caracteres		Situación de la muestra en el yacimiento
		Estructurales	Texturales	
M-61	Blanco verdoso	Masiva	Semicompacta, en las zonas donde aparece el talco es totalmente deleznable. Se pueden observar nódulos más duros de serpentina en estado de alteración.	Masa explotada
M-64	Verde oliva	Masiva	Compacta, hay núcleos más alterados en los que se pueden apreciar formaciones en capas. Toda la roca presenta una capa de alteración superficial que le da un aspecto amarillento parduzco. Existen óxidos de hierro.	Masa explotada
M-60	Verde oscuro	Masiva	Compacta, llena de fisuras de hasta 5 mm. que atraviesan la roca irregularmente. En las fisuras aparecen cristales de carbonatos bien cristalizados.	Hastial

TABLA 11 (continuación)

Muestra	Caracteres Estructurales		Caracteres Texturales		Situación de la muestra en el yacimiento
	Color				
M-62	Verde oscuro	Masiva	Compacta, cristalina con tamaño de grano microscópico. Se puede observar la existencia de menas metálicas. Mezcladas con la serpentina compacta aparecen minerales claros bien cristalizados.	Cerca del hacial, fuera del yacimiento.	
M-65	Blanco verdoso	Masiva	En una observación de detalle se puede ver la textura laminar con relictos de minerales bien cristalizados muy duros.	Cerca del hacial, fuera del yacimiento.	

b) Resultados experimentales y discusión

En la tabla 12 se recogen los resultados del análisis mineralógico por difracción de Rayos-X. Como puede observarse los minerales más abundantes en este yacimiento son: talco, clorita, serpentina, carbonatos tipo calcita y dolomita, y apariciones puntuales de tremolita, plagioclasa y cuarzo en alguna muestra.

La distribución mineralógica se muestra en la figura 14 construída como se ha descrito anteriormente. Podemos deducir que el yacimiento se compone de talco, clorita y serpentina que ocupan la parte central, de forma irregular. Los carbonatos se sitúan en los hastiales y el cuarzo y las plagioclasas están relacionados con las rocas que forman la caja del yacimiento.

La evolución mineralógica no es simétrica, pues como puede apreciarse en el esquema geológico el talco no aparece masivo, sino que por el contrario aparece mezclado con fragmentos de serpentina irregularmente transformados. La clorita, aunque presenta una distribución irregular a lo largo del yacimiento, parece concentrarse en las zonas centrales. La serpentina aparece mezclada con el talco como ya se ha dicho, pero aparece en mayor concentración en los hastiales. Los carbonatos y el cuarzo se sitúan en los laterales del yacimiento a ambos lados del talco. La tremolita y las plagioclasas, aunque se presentan en el yacimiento esporádicamente, en las cercanías de la zona estudiada se pueden observar estos minerales relacionados con la serpentina y con los gneises respectivamente.

Al no encontrar en el yacimiento rocas con el contenido en serpentina lo suficientemente elevado para poder emplear el método descrito anteriormente para el Yacimiento Por Fin y determinar el tipo de serpentina que hay en el yacimiento, hemos deducido, basándonos en las observaciones microscópicas, que se trata del tér-

COMPOSICION MINERALOGICA CUANTITATIVA POR DIFRACCION DE RAYOS-X

YACIMIENTO MARINA

Muestra	Talco	Clorita	Serpentina	Calcita	Dolomita	Tremolita	Plagioclasa	Q
M-58	Indicios	25	50	25	-	-	-	-
M-59	5	20	-	-	-	-	-	75
M-63	40	50	-	-	-	10	-	-
M-61	60	25	15	-	-	-	-	-
M-64	10	15	25	-	50	-	-	-
M-60	5	-	5	-	90	-	-	-
M-62	-	5	15	-	-	-	80	-
M-65	-	15	-	-	5	-	25	55

TABLA 12

COMPOSICION MINERALOGICA

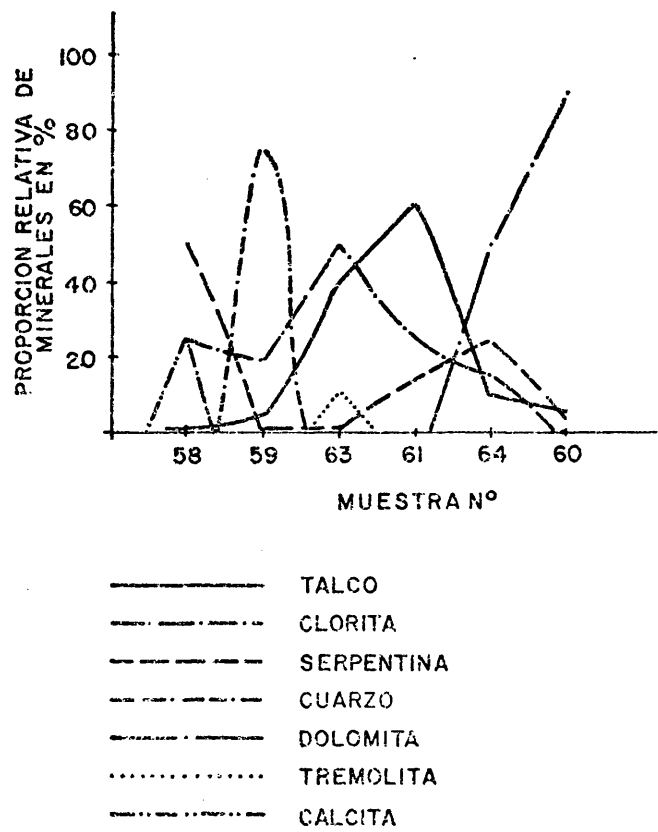


Fig. 14.

mino antigorita, encontrado en los demás yacimientos próximos a éste.

Con la clorita sucede lo mismo, e interpretando los datos obtenidos en el yacimiento más próximo a éste, podemos considerar que se trata del tipo talco-clorita.

Para comprobar los resultados obtenidos del análisis cuantitativo por difracción de Rayos-X se ha cuantificado también la mineralogía a partir de los datos obtenidos del estudio termoponderal sobre la muestra M-61, constituida por serpentina, clorita y talco.

En la figura 15 se presenta el diagrama del análisis termogravimétrico de la muestra M-61 en la que se pueden observar tres efectos principales de pérdida de peso. El primero entre 20 y 250°C que representa una pérdida de peso del 0,69 %, correspondiente a la pérdida de agua absorbida. Al segundo escalón que comienza hacia los 400°C para finalizar a los 700°C, le corresponde una pérdida del 5,74 % que se debe atribuir a la deshidroxilación de la serpentina. El tercer escalón comienza a los 800°C y finaliza a los 1000°C, corresponde a una pérdida del 8,86 % que debe atribuirse a la deshidroxilación del talco.

En el estudio por infrarrojos de la muestra M-61 no se han observado sustituciones del Mg por otros cationes divalentes. Se ha puesto de manifiesto la existencia de clorita y serpentina, además de talco.

En el estudio óptico se ha observado el contacto por fractura de los materiales serpentínicos talquizados y los carbonatos de las rocas que forman la caja del yacimiento que en ocasiones conservan el hábito romboédrico. También se denuncia la aparición

TG M-6I

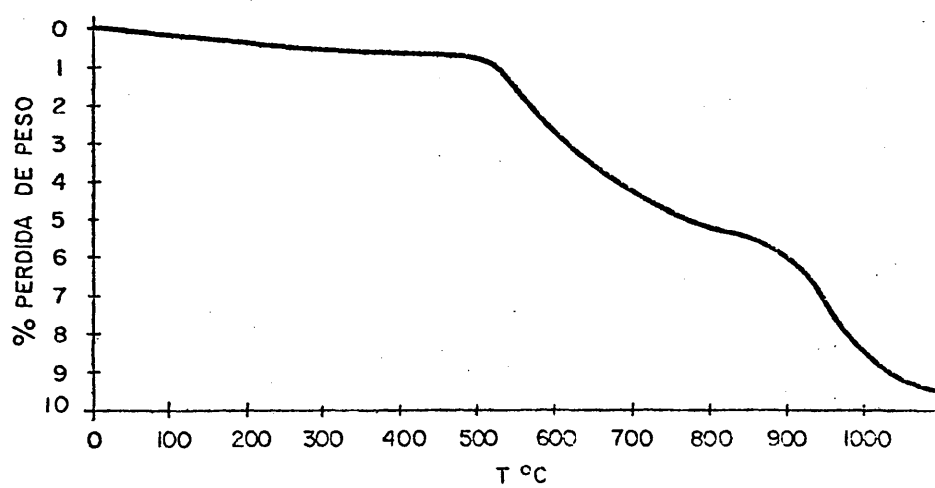


Fig. 15.

de restos de piroxenos rómbicos y espinelas que en la difracción de Rayos-X no se han podido observar (dado su carácter puntual). La observación de la estructura mallada de la serpentina contribuye a clasificarla como la variedad de tipo antigorita. Los relictos de piroxenos rómbicos que todavía conservan la extinción recta, en zonas aparecen totalmente transformados. Hay preparaciones en las que la serpentina presenta una textura más fibrosa. Aparecen espículas férricas bien cristalizadas.

En la tabla 13 se recogen los resultados obtenidos del análisis químico realizado por fluorescencia de Rayos-X. Para comprobar estos resultados también se ha realizado un análisis químico por vía húmeda de la muestra M-61 (tabla 14) perteneciente al yacimiento. La concordancia entre ambos resultados es bastante alta, lo que justifica como en anteriores yacimientos, el uso de los porcentajes obtenidos por fluorescencia de Rayos-X para estudiar la distribución espacial de los elementos a lo largo del yacimiento.

Como se indicó al hablar de la distribución espacial mineral, transversal al yacimiento, al no seguir los minerales una evolución simétrica, los elementos analizados por fluorescencia de Rayos-X tampoco la siguen, pudiéndose observar que la relación SiO_2/MgO es variable, habiendo zonas en el centro del yacimiento que aumenta como en el caso de la muestra M-60, M-69 y M-59.

Dada la distribución irregular de la mineralogía en el yacimiento, debido a su configuración tectónica y al estado en que se encuentra el yacimiento, los datos obtenidos por fluorescencia de Rayos-X no nos aportan pruebas suficientes como para emitir una hipótesis geoquímica de evolución de los elementos (Fig. 16).

ANALISIS QUIMICO POR FLUORESCENCIA DE RAYOS-X

YACIMIENTO MARINA

Muestra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO ₂ 3	CaO	MgO	NiO	CuO
M-58	30,5	10	4,1	14	30	0,06	0,17
M-59	85,2	5	2,9	-	7	0,008	0,05
M-63	49,9	7	2,7	2	35	0,18	0,02
M-61	51,4	7	2,7	tr.	34	0,17	0,00
M-64	22,1	10	3,6	15	48	0,18	0,18
M-60	4,8	7	2,9	27	25	0,10	0,00
M-62	48,4	10	6,3	22	9	0,01	0,08
M-65	76,8	6	4,1	5	5	0,00	0,11

TABLA 13

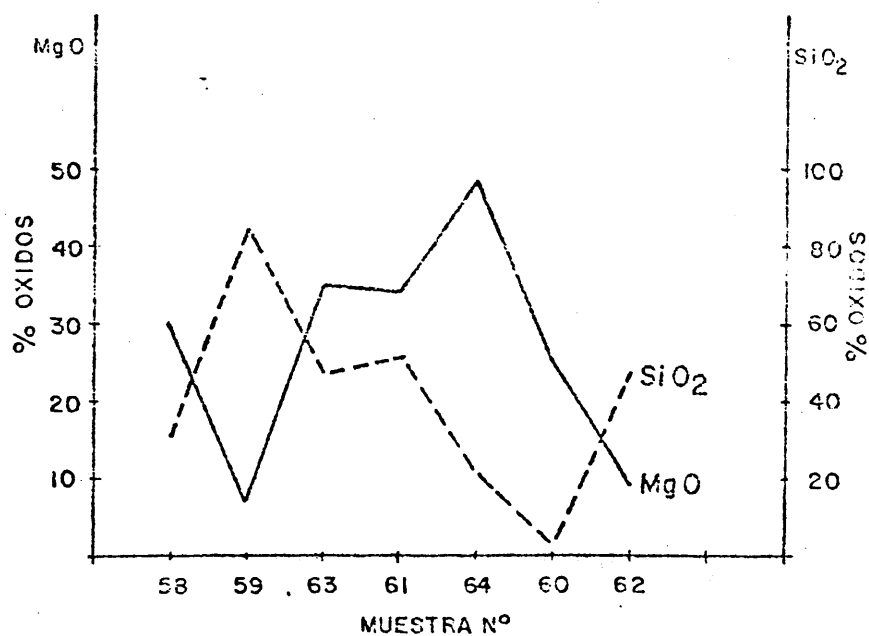
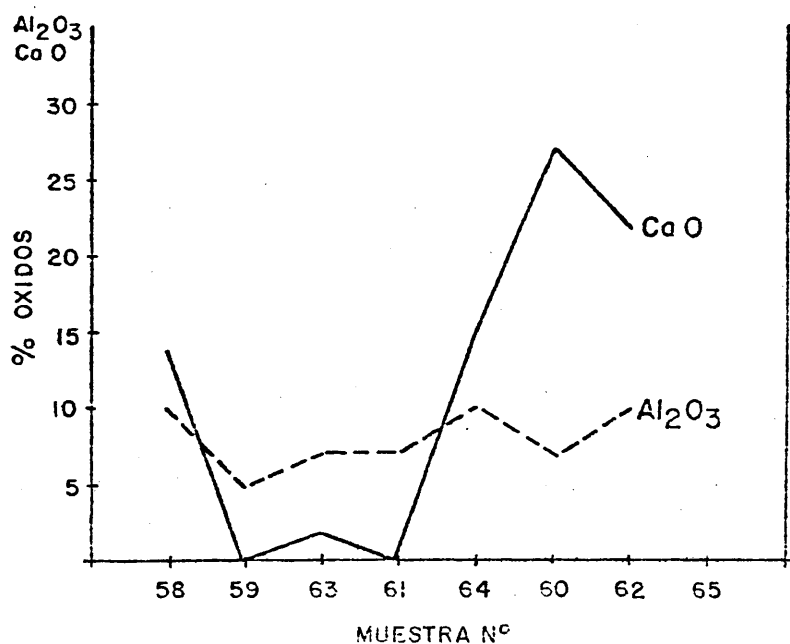
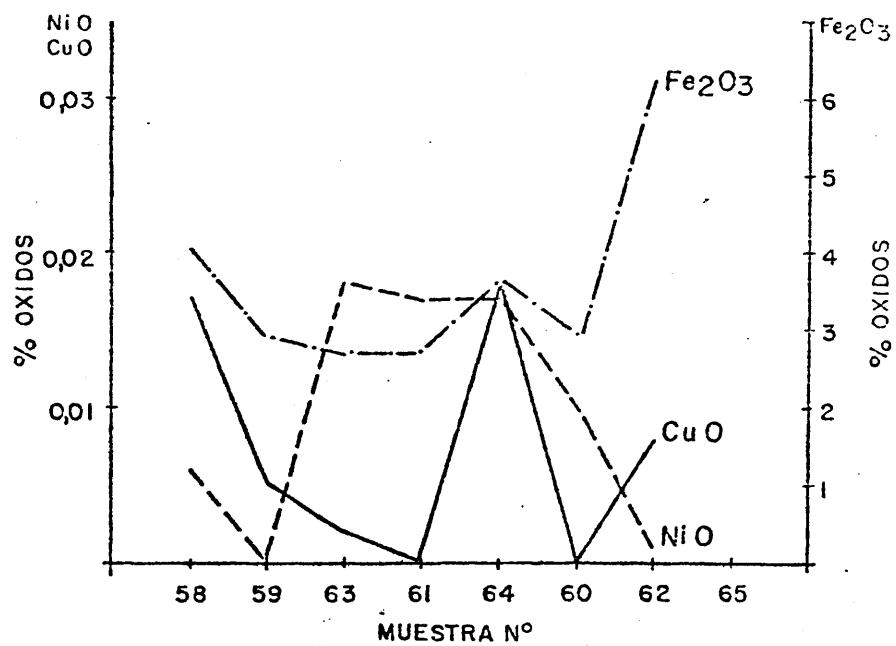
ANALISIS QUIMICO

YACIMIENTO MARINA

M-61

SiO ₂	50,88
Al ₂ O ₃	2,86
Fe ₂ O ₃	3,65
MgO	30,84
CaO	2,95
K ₂ O	0,08
Na ₂ O	0,18
H ₂ O _{110°}	0,21
H ₂ O _{1000°}	8,03
Suma total	99,68

TABLA 14



B) Yacimientos asociados a fracturas en el interior de las masas serpentínicas.

5.1.3. Yacimiento INESPERADA

a) Descripción y materiales estudiados

El yacimiento se encuentra localizado al SW del arroyo del Laurel, al W del cerrillo del Abuelo (casa forestal) en el cuadrante SW de la Hoja 1066 del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000 (Coin), teniendo como coordenadas medias: Longitud $4^{\circ} 44' 30''$ y Latitud $36^{\circ} 33' 54''$.

La mineralización se encuentra rellenando una fractura de dirección E-W que buza aproximadamente 30° N. La zona mineralizada tiene una potencia de 5 a 6 m. y más de 600 m. de corrida. El talco está asociado a fragmentos de serpentina en diversos estados de transformación, constituyendo una brecha de origen tectónico. Asociado a esta mineralización, se pueden observar minerales fibrosos de tipo serpentínico, que se sitúan preferentemente en los bordes de los bloques de la serpentina no fibrosa, el talco también presenta textura fibrosa (Fig. 17).

Se explotó en galerías durante un cierto tiempo y actualmente se encuentra abandonada, pero de nuevo se va a iniciar su explotación a cielo abierto.

En la tabla 15 se resumen las características de "visu" más representativas de las diferentes muestras del yacimiento, así como su situación espacial dentro de él.

YACIMIENTO INESPERADA

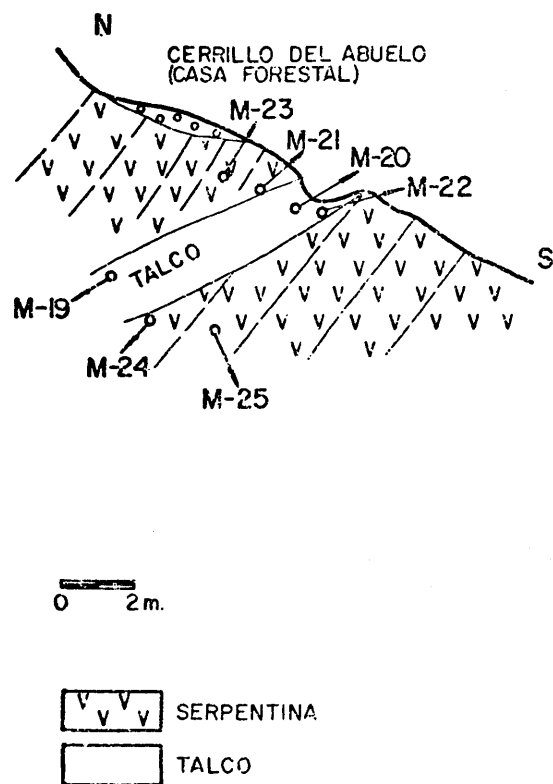


Fig. 17.



Yacimiento Inesperada. Detalle del filón.

Fig. 17.

TABLA 15

YACIMIENTO INESPERADA

Muestra	Color	Caracteres Estructurales	Caracteres Texturales	Situación de la muestra en el yacimiento
M-23	Verde oscuro	Masiva	Compacta, dureza media, alterada superficialmente, suave al tacto, restos de minerales metálicos.	Hastial
M-21	Verde pardo, con alteración superficial	Masiva	Deleznable, bastante alterada. No se observan buenos cristales. Hay venillas que atraviesan la roca de material más claro y más blando.	Contacto con el hastial.
M-19	Blanco	Masiva, con nódulos.	Material blando, deleznable con existencia de bloques, que oscilan de 2 cm. hasta 12, de serpentina en fase de alteración.	Zona explotada
M-20	Blanco verdoso	Masiva	Material blando, deleznable, con brillo sedoso y gran suavidad. Aparecen pequeños bloques dentro de la masa talquizada en estado avanzado de transformación.	Masa explotada

TABLA 15 (continuación)

Muestra	Color	Caracteres Estructurales	Caracteres Texturales	Situación de la muestra en el yacimiento
M-22	Blanco parduzco	Masiva	Material deleznable, más duro que el anterior, suave al tacto con textura fibrosa. Bastante alterada. No se observan buenos cristales.	Contacto con el hastial.
M-24	Verde claro	Masiva	Bastante compacta, algo fibrosa, dureza media y tamaño de cristal microscópico. La roca se encuentra atravesada de pequeñas venillas más claras con poca dureza, podría ser talco.	Hastial
M-25	Verde oscuro	Masiva	Compacta, atravesada por venillas rellenas de materiales blancos que parecen feldespatos con 2 a 3 mm. de espesor. Forman una masa bastante uniforme. Constituyen la roca caja del yacimiento. Dureza media y fractura concoidea.	Hastial

b) Resultados experimentales y discusión

Los resultados del análisis mineralógico por difracción de Rayos-X se recogen en la tabla 16. Como puede verse los minerales dominantes en este yacimiento son: serpentina, talco y clorita, apareciendo cuarzo como mineral dominante en la muestra M-25, que fue recogida en las proximidades del filón.

La distribución mineralógica se muestra en la figura 18 construida de forma que la posición de las muestras corresponde a su situación espacial en el yacimiento. De ella se puede deducir que ambos hastiales están constituidos fundamentalmente por serpentina, presentándose la mayor concentración de talco en la zona central del yacimiento. La evolución mineralógica a partir de ambos hastiales es bastante simétrica excepto por la presencia de cuarzo. La clorita se sitúa preferentemente en los hastiales.

El término de serpentina presente corresponde al tipo antigorita, determinada por las posiciones de los efectos de difracción de Rayos-X. También se ha determinado por microscopía electrónica. En la fig. 22 y 23 se presentan microfotografías correspondientes al estudio por microscopio electrónico de las muestras seleccionadas del yacimiento. Se observa la presencia de cristales tabulares "bastones" de una longitud comprendida entre 0,24 y 3,1

La clorita se ha determinado según el método PETRUK (1. 964), y según la clasificación de HEY (1. 954) corresponde al término talco-clorita.

Para comprobar los resultados del análisis cuantitativo por difracción de Rayos-X se ha cuantificado también la mineralogía a partir de los datos obtenidos por el estudio termoponderal sobre dos muestras del yacimiento, una de ellas constituida casi exclusi-

COMPOSICION MINERALOGICA CUANTITATIVA POR DIFRACCION DE RAYOS-X

YACIMIENTO INESPERADA

Muestra	Talco	Clorita	Serpentina	Cuarzo	Plagioclasas	Mica
M-23	Indicios	-	100	-	-	-
M-21	5	10	85	-	-	-
M-19	40	35	-	25	-	-
M-20	85	Indicios	15	-	-	-
M-22	55	45	-	-	-	-
M-24	Indicios	Indicios	100	-	-	-
M-25	-	10	25	50	15	Indicios

TABLA 16

COMPOSICION MINERALOGICA

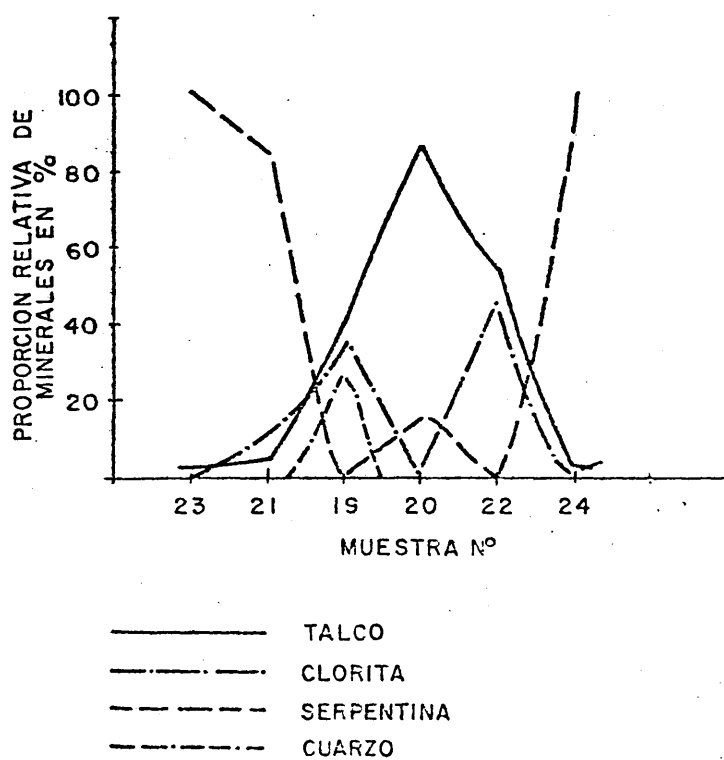


Fig. 18.

vamente por serpentina (M-23) y la otra por talco, clorita y cuarzo (que junto con la serpentina son los minerales esenciales del yacimiento) en proporciones similares.

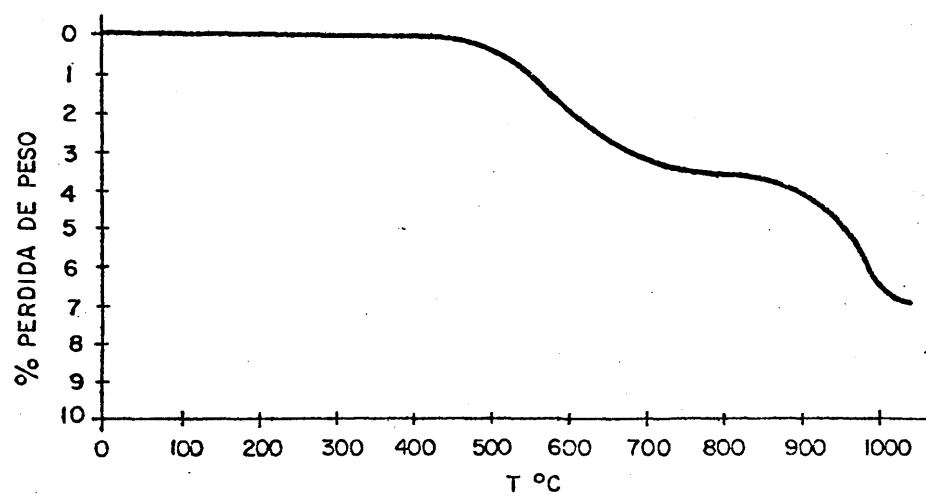
En la figura 19 se presenta el diagrama del análisis termogravimétrico de la muestra M-19, la descomposición térmica ocurre en 2 etapas entre $500-700^{\circ}\text{C}$ y $900-1100^{\circ}\text{C}$, que corresponden sucesivamente a la descomposición de la clorita y el talco (ALEIXANDRE y ALVAREZ-ESTRADA en MACKENZIE, 1.957). Las determinaciones de las pérdidas de peso en ambas etapas dan para la primera un valor de 3,89 % que, teniendo en cuenta la fórmula anteriormente propuesta para la clorita, corresponde a un 40 % de clorita presente en la muestra. La pérdida para el segundo escalón representa un 2,95 %. Teniendo en cuenta que la pérdida teórica para un talco ideal es del 4,70 % puede estimarse que el contenido en talco es del 35 %.

En la figura 19 se recoge la curva de termogravimetría correspondiente a la muestra M-23. En ella se observa también dos efectos de pérdida de peso principales. El primero entre 25 y 200°C , representa una pérdida del 3,02 % y corresponde a la pérdida de agua absorbida, incluso zeolítica muy típica de las serpentinas (CAILLERE, S. y HENIN, S. en MACKENZIE, 1.957).

Al segundo escalón, que comienza hacia los 400°C para finalizar a los 800°C , le corresponde una pérdida del 10,40 %, que se debe atribuir a la deshidroxilación de la serpentina. El porcentaje de este mineral calculado a partir de esta última pérdida, teniendo en cuenta la composición de una serpentina pura, es del 100 %. Como puede apreciarse los resultados obtenidos por ambos métodos concuerdan considerablemente.

Se han analizado dos muestras de este yacimiento M-19 y M-23 por espectroscopía de infrarrojos, e igual que en las

TG M-19



TG M-23

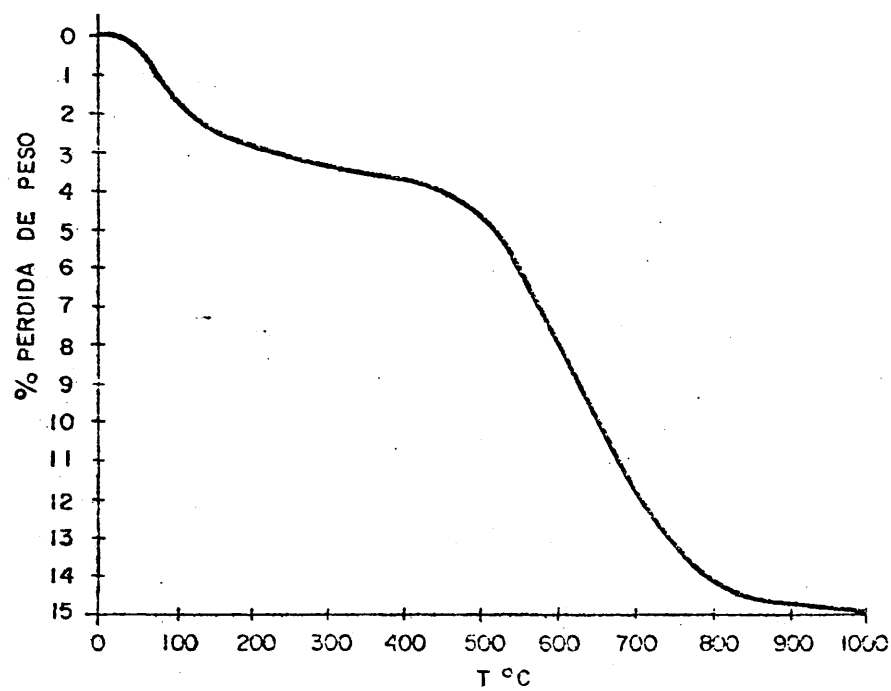


Fig. 19.

anteriores se ha rodado con fluorolube en las regiones 4.000 y 3.200 cm^{-1} .

En el espectro correspondiente a la muestra M-19 que se muestra en la figura 20 se pueden observar las bandas entre 3.675 y 3.659 correspondientes a la agrupación OH-Mg y a la agrupación Mg-M²⁺ siendo M un catión pesado (Fe, Ni, Mn, Co,...) que está sustituyendo parcialmente al magnesio. También se ha podido detectar la existencia de clorita hacia las regiones 3.465 y 3.450 cm^{-1} . A 1.015 cm^{-1} aparece la banda propia de la vibración Si-O, a 665 cm^{-1} otra banda atribuida a una vibración de deformación Mg-OH. Y por último también aparecen una serie de bandas entre 600 y 350 cm^{-1} consideradas como típicas vibraciones de una capa trioctaédrica.

El espectro de la muestra M-23 corresponde al de una serpentina prácticamente pura. (Fig. 21).

Del estudio óptico se ha deducido que las rocas compuestas fundamentalmente por talco, presentaban restos de piroxenos rómbicos muy cloritizados, con granos de espinelas aislados, con óxidos de hierro goethita que están rodeando a minerales transparentes. Estos granitos de goethita están constituidos por agregados de cristales de tamaño muy pequeño. Hay zonas aisladas en las que se pueden observar grietas rellenas de hematites rodeando la cromita. La aparición de granos de pirita es muy aislada.

Las rocas más duras, del tipo serpentínico, presentan la estructura mallada típica de la variedad antigorita, con muchas fracturas rellenas de minerales metálicos, del tipo goethita que a veces se encuentra sustituyendo a minerales transparentes. La magnetita es el mineral que rellena las fracturas.

ESPECTROS DE INFRARROJOS

MUESTRA N° 19

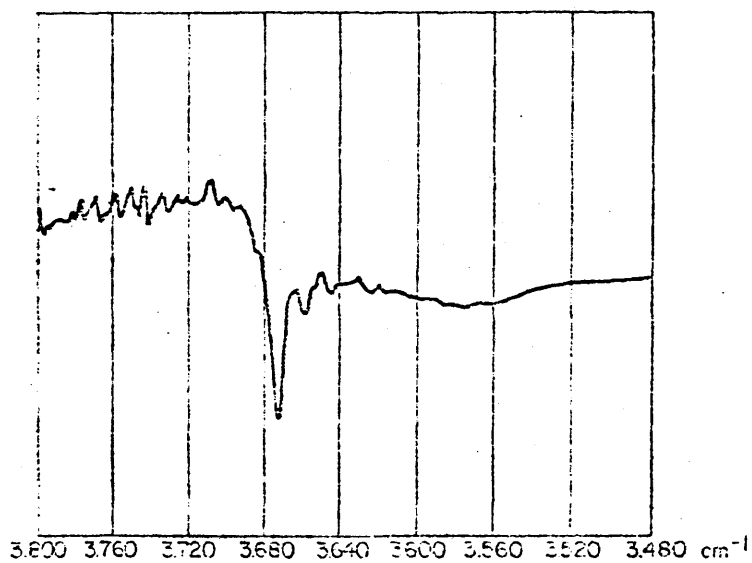
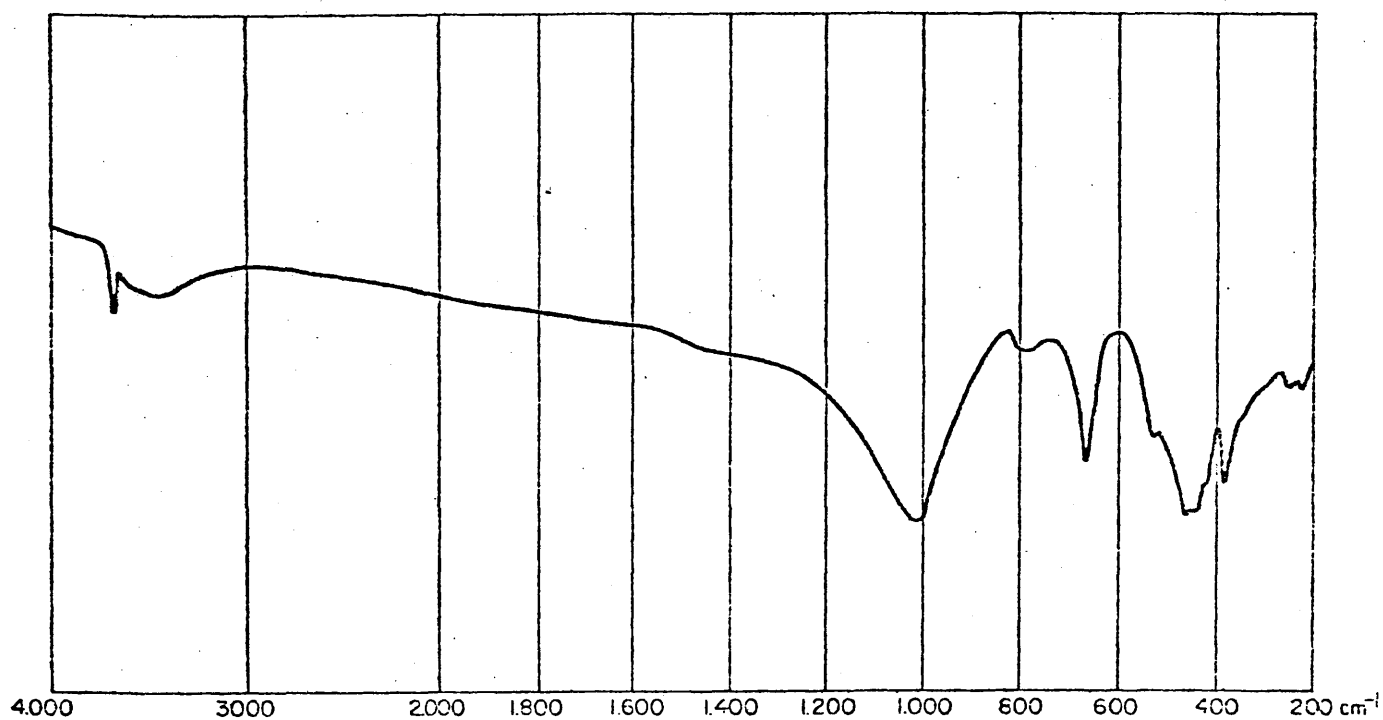


Fig. 20.

ESPECTROS DE INFRARROJOS

MUESTRA N° 23

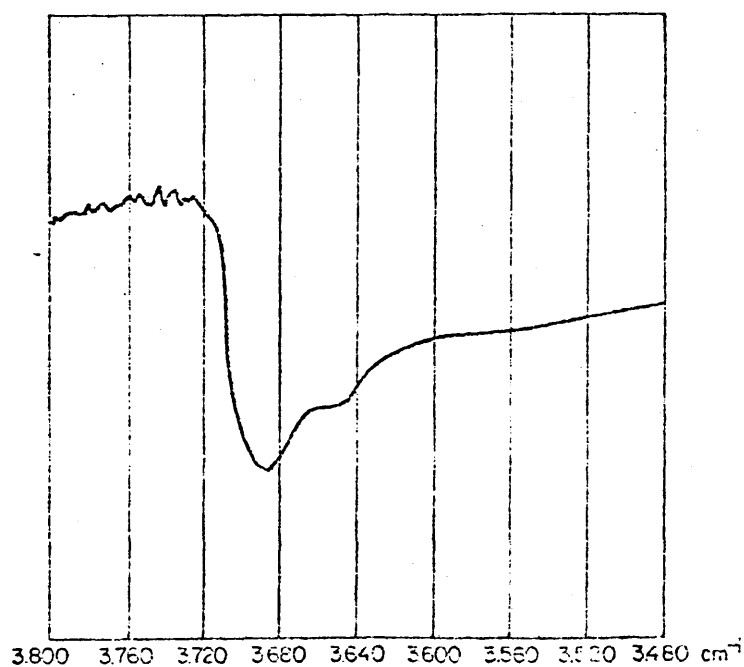
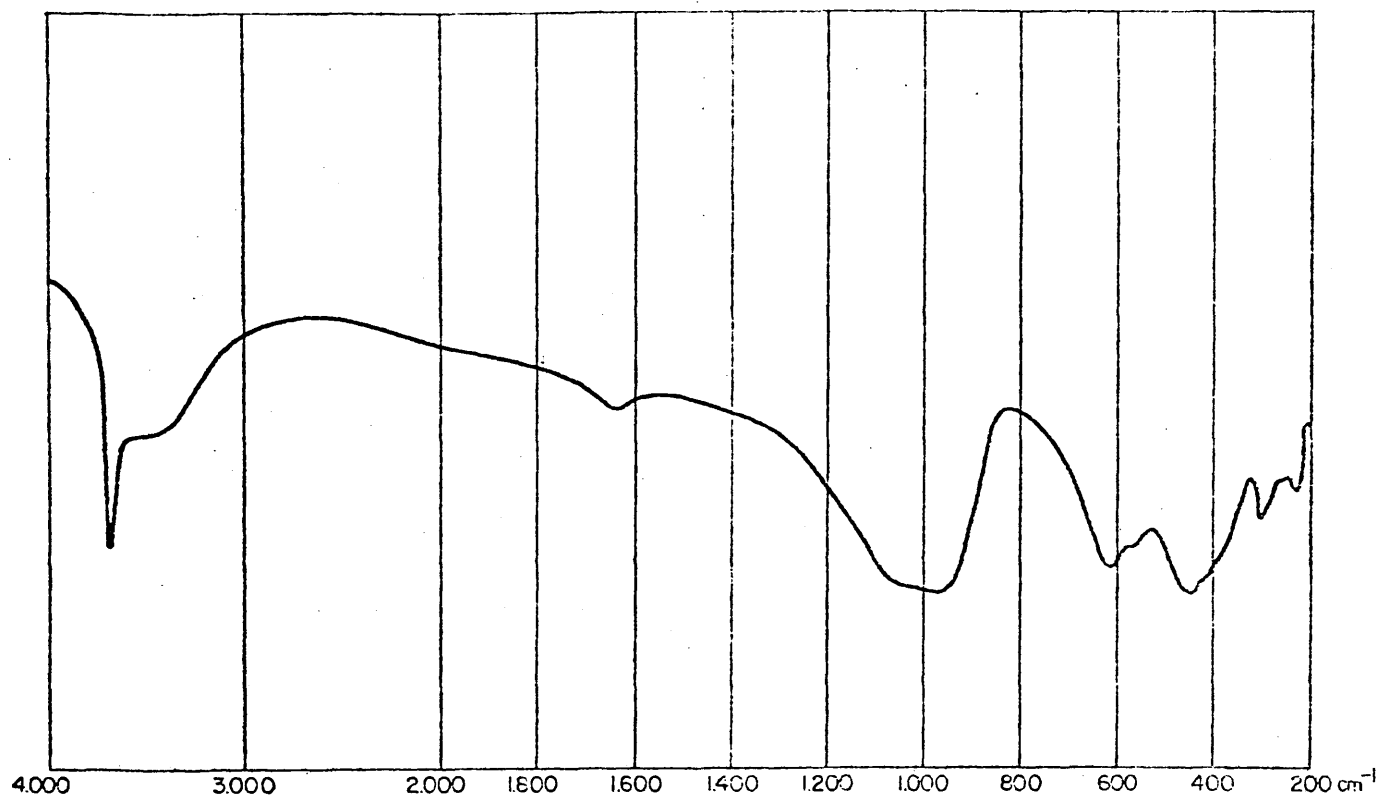


Fig. 21.

Estas tres microfotografías que se presentan en la figura 22 (a, b, c) corresponden a la muestra M-19 compuesta por serpentina y talco. El talco presenta el aspecto micáceo no sólo característico de este mineral. La serpentina presenta forma irregular alargada, con tendencia a formar listones que oscilan de 1,3 a $3,1\mu$ de longitud (Fig. 22 b).

En la microfotografía fig. 22 c, se observa un borde de grano en el que se pueden apreciar los bastones de antigorita.

En la fig. 23 (a, b, c) correspondientes a la muestra M-23 de serpentina se ha medido el tamaño de las fibras o listones (microfotografías a y b), que oscila de 0,24 a $2,1\mu$ de longitud; como puede apreciarse la variación es bastante grande.

En la microfotografía fig. 22 c se observa un cristal muy bueno de clorita, presente en la muestra.

En la tabla 8 se presentan los resultados del análisis químico realizado por fluorescencia de Rayos-X. Para comprobar estos resultados, se ha realizado un análisis químico por vía húmeda de la muestra M-19 (tabla 18). La concordancia entre ambos resultados es, como en casos anteriores, bastante alta, por lo que se ha seguido esta técnica para estudiar la distribución espacial de los elementos a lo largo del yacimiento (Fig. 24).

La distribución de elementos perpendicularmente al yacimiento sigue una pauta similar a la distribución mineralógica ya comentada. La relación SiO_2/MgO aumenta hacia la zona central, lo que representa un proceso de silicificaciones relativo.

El hierro férrico y el Ni se comportan frente

(a)



(b)



(c)



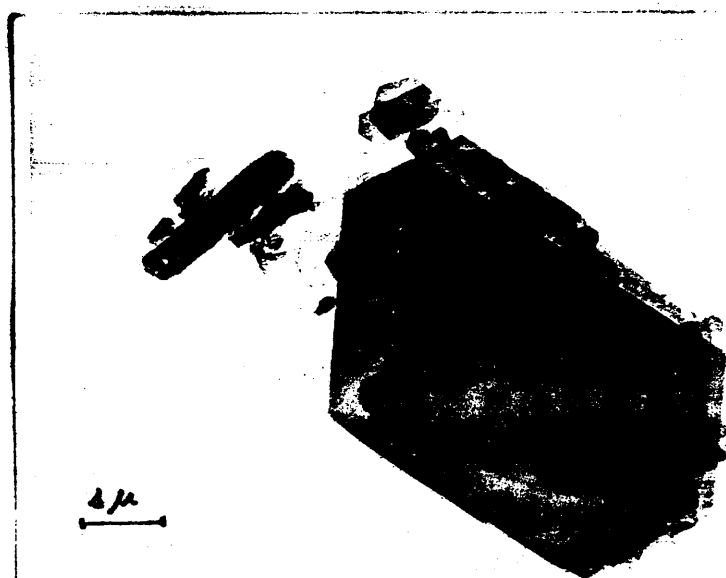
Fig. 22



(a)



(b)



(c)

Fig. 23

ANALISIS QUIMICO POR FLUORESCENCIA DE RAYOS-X

YACIMIENTO INESPERADA

Muestra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	NiO	CuO
M-23	43	6	5,01	1	43	0,26	0,03
M-21	46	11	4,9	1	39	0,21	0,08
M-19	61	12	0,80	tr.	26	0,16	0,05
M-20	58	10	1,8	1	28	0,19	0,6
M-22	45	14	1,6	tr.	36	0,20	0,04
M-24	43	8	4,6	1	42	0,26	0,06
M-25	70	11	4,6	3	15	0,26	0,06

TABLA 18

ANALISIS QUIMICO

YACIMIENTO INESPERADA

M-19

SiO ₂	56,94
Al ₂ O ₃	7,53
Fe ₂ O ₃	2,26
MgO	23,64
CaO	1,82
K ₂ O	0,27
Na ₂ O	0,12
H ₂ O ₁₁₀ ^o	0,17
H ₂ O ₁₀₀₀ ^o	6,64
Suma total	99,39

TABLA 19

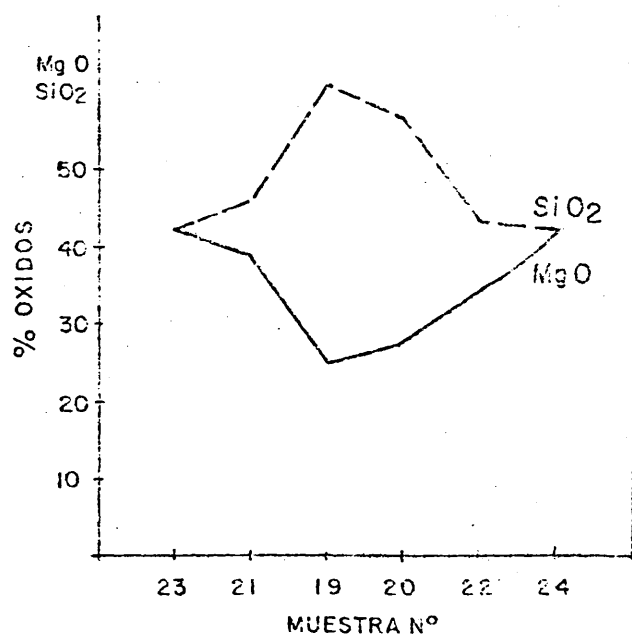
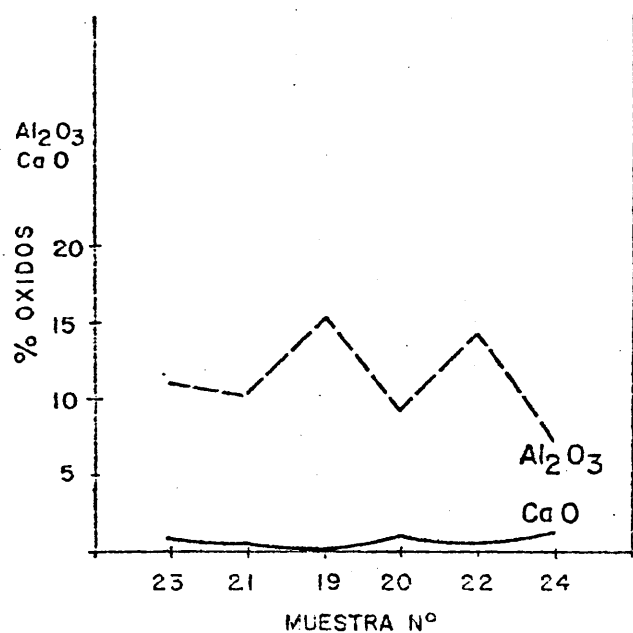
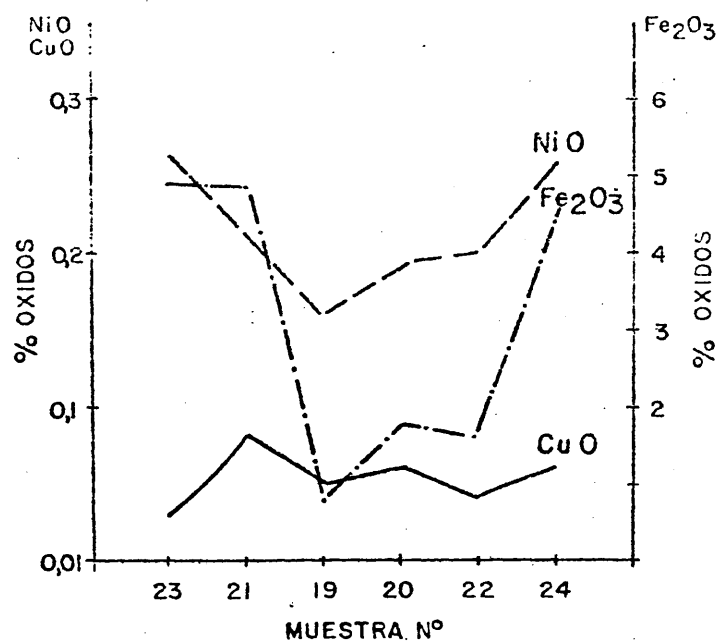


Fig. 24.

a la sílice de manera similar al Mg. La variación del porcentaje de aluminio es prácticamente nula, las fluctuaciones observadas coinciden con las mayores concentraciones de clorita.

5.1.4. Yacimiento PEREZ-BRIAN

a) Descripción y materiales estudiados

El yacimiento se encuentra localizado al N del arroyo del Tejar en el cuadrante SW de la Hoja 1066 del Mapa Topográfico Nacional a la escala 1:50.000 (Coin) teniendo unas coordenadas medias: Longitud $4^{\circ} 50' 06''$ y Latitud $36^{\circ} 33' 54''$.

La zona mineralizada se encuentra a lo largo de una fractura de dirección $N 160^{\circ} E$, dentro de la serpentina, pero muy cerca del contacto, también por fractura, de dichos materiales con gneises y mármoles asociados.

La mineralización tiene 6 y 8 m. de anchura y la zona explotada (actualmente abandonada) tiene unos 150 m. de longitud (Fig. 25).

El desarrollo del talco es irregular; nunca es masivo, sino que aparece envolviendo fragmentos de serpentina, en algunos puntos, las zonas más ricas en talco se encuentran sobre los hastiales, dejando en su interior, una parte media con muchos nódulos de serpentina. Sin embargo, en otros puntos, la zona más rica en talco es la central. Fig. 25 (b).

La serpentina asociada al talco presenta una textura fibrosa, asbestiforme en algunos casos, podría tratarse de un anfíbol tipo tremolita o de un crisotilo. La poca fragilidad que presentan las fibras parece indicar que sean anfíboles.

Se trata de una zona con numerosas fracturas asociadas, y no de un contacto neto por falla.

YACIMIENTO PEREZ BRIAN

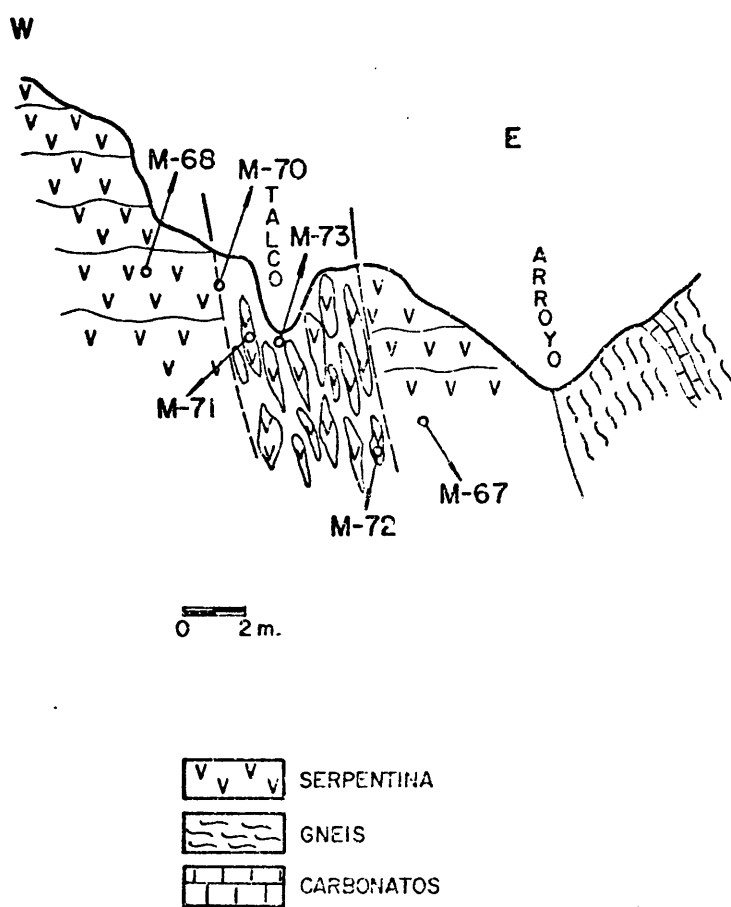
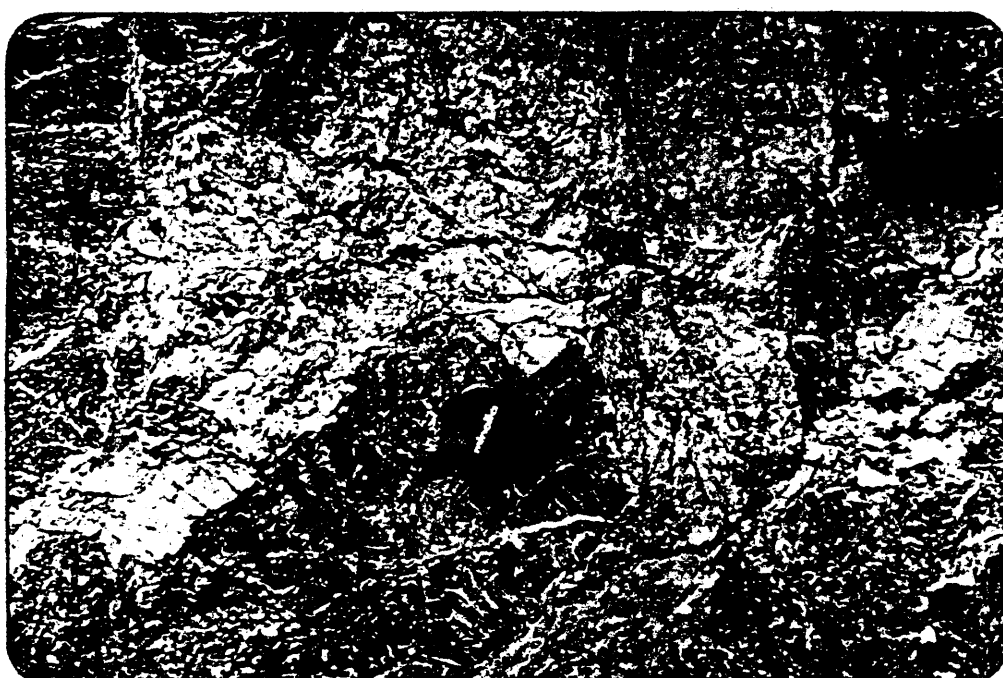


Fig. 25. (a)



Yacimiento Pérez-Brian. Detalle de la mineralización.

Fig. 25.(b)

TABLA 19

YACIMIENTO PEREZ-BRIAN

Muestra	Color	Caracteres Estructurales	Caracteres Texturales	Situación de la muestra en el yacimiento
M-68	Verde oscuro con venillas de minerales claros	Masiva con venillas de minerales más claros	Compacta, con tamaño de cristal homogéneo.	Hastial
M-70	Blanco	Fibrosa	Agregados cristalinos alargados fibrosos. El tamaño de cristal es microscópico. Se observan con la lupa laminillas fibrosas alargadas tipo asbestífero.	Cerca del hastial
M-71	Verde pardo	Masiva con venillas de materiales claros.	Compacta con tamaño de cristal heterogéneo.	Masa explotada
M-73	Blanco verdoso	Masiva	Fibrosa, formando laminillas con tamaño de cristal microscópico. Aparecen nódulos más duros de serpentina en fase de transformación, dentro de la masa talcosa.	Masa explotada

TABLA 19 (Continuación)

Muestra	Color	Caracteres Estructurales	Caracteres Texturales	Situación de la muestra en el yacimiento.
M-72	Verde pardo	Masiva, con venillas de material más claro.	Fibrosa, en agregados cristalinos alargados. Con la lupa se observan laminillas alargadas tipo asbestífero.	Masa explotada
M-67	Verde oscuro	Masiva, con pequeñas fisuras relle-nas de materiales oscuros.	Compacto de tamaño de cristal heterógeno.	Hastial.
M-66	Blanco verdoso	Fibrosa laminar	Agregados cristalinos formando láminas con tamaño de cristal microscópico.	Cerca del hastial, fuera del yacimiento a 2 ó 3 m.

b) Resultados experimentales y discusión

Los análisis mineralógicos se recogen en la tabla 20. Como puede verse, los minerales dominantes de este yacimiento son talco, clorita, serpentina y tremolita.

La distribución mineralógica se muestra en la figura 26 construída de forma que la composición de las muestras corresponde a su situación espacial en el yacimiento (como se había descrito anteriormente). De ella podemos deducir que ambos hastiales están constituidos por serpentina fundamentalmente, presentándose la mayor concentración de talco en la zona central del yacimiento. La evolución mineralógica vemos que no es muy simétrica, ya que como puede apreciarse en el esquema geológico el talco no aparece masivo, sino que dentro de la masa talquizada aparecen bloques de tamaño variable de serpentina en grados diferentes de alteración. La clorita tiene una distribución irregular a lo largo del yacimiento. La tremolita, sí parece situarse preferentemente hacia los hastiales.

El término serpentínico corresponde a la variedad antigorita, determinado por la forma ya descrita anteriormente, y comprobado al microscopio electrónico.

La clorita corresponde también al término talco-clorita, determinada para este yacimiento en la muestra M-70.

El estudio comparativo Rayos-X-TG se ha hecho sobre la muestra M-67 del yacimiento, constituida casi exclusivamente por serpentina (tabla 10).

En la figura 27 se representa el diagrama del análisis termogravimétrico de la muestra M-67 en la que se observan dos efectos de pérdida de peso principales. El primero entre 25

COMPOSICION MINERALOGICA CUANTITATIVA POR DIFRACCION DE RAYOS-X

YACIMIENTO PEREZ-BRIAN

Muestra	Talco	Clorita	Serpentina	Tremolita
M-68	-	15	85	-
M-70	5	30	-	65
M-71	25	15	60	-
M-73	45	20	35	-
M-72	5	Indicios	90	5
M-67	5	-	95	-
M-66	5	15	-	80

TABLA 20

COMPOSICION MINERALOGICA

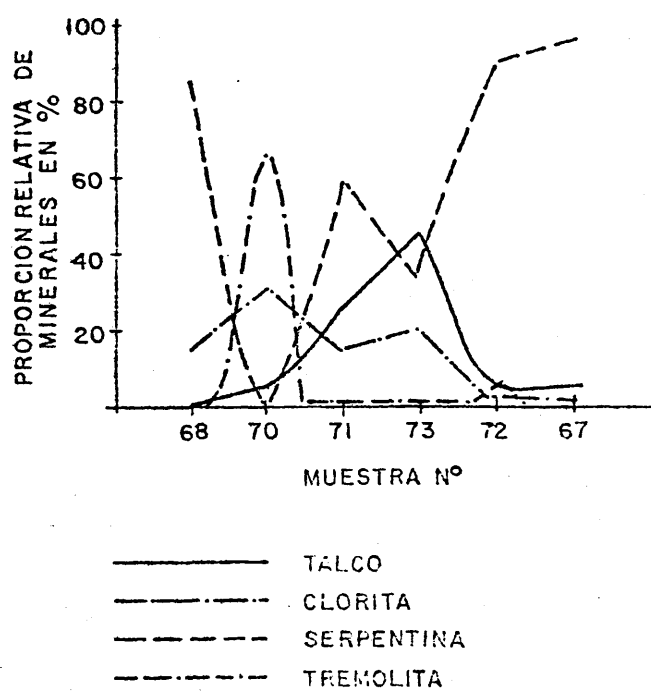


Fig. 26.

TG M-67

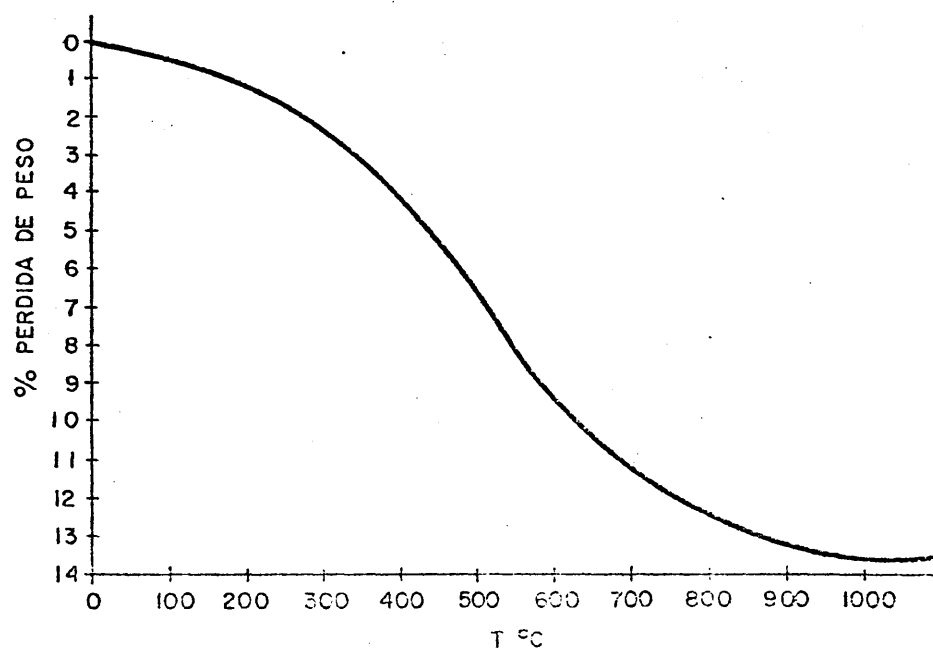


Fig. 27.

y 250°C que representa una pérdida de 1,8 % que corresponde a la pérdida de agua absorbida.

Al segundo escalón, que comienza hacia los 400°C para finalizar a los 900-1000°C, le corresponde una pérdida del 13,6 % que se debe atribuir a la deshidroxilación de la serpentina. El porcentaje de este mineral calculado a partir de esta última pérdida, teniendo en cuenta la composición de una serpentina pura es del 100 %. Como puede apreciarse los resultados obtenidos por ambos métodos concuerdan considerablemente.

En el diagrama de infrarrojos obtenido para la muestra M-67 no se observaron sustituciones en la capa octaédrica del Mg por cationes pesados divalentes. Este diagrama nos ha servido para la identificación mineralógica ya que se trataba de una muestra compuesta prácticamente por serpentina.

Del estudio óptico lo más interesante que se puede destacar es la aparición de minerales como las espinelas y los piroxenos muy alterados que por otras técnicas no se habían detectado. También es interesante la observación de la estructura mallada entrecruzada de la serpentina que nos aporta un dato más para clasificarla como de tipo antigorita.

En la tabla 21 se presentan los resultados obtenidos del análisis químico realizado por fluorescencia de Rayos-X. Para comprobar estos resultados también se ha realizado un análisis químico de la muestra M-71 perteneciente al yacimiento. La concordancia entre ambos resultados es bastante alta.

La distribución espacial de los elementos a lo largo del al yacimiento sigue una pauta similar a la distribución mineralógica ya comentada.

ANALISIS QUIMICO POR FLUORESCENCIA DE RAYOS-X

YACIMIENTO PEREZ-BRIAN

Muestra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	NiO	CuO
M-68	41,9	6	3,3	1	41	0,08	0,03
M-70	52,1	14	1,5	10	29	0,04	0,02
M-71	46,3	7	3,5	tr.	40	0,10	0,02
M-73	49,2	7	1,1	2	37	0,08	0,01
M-72	47,6	2	3,2	1	40	0,07	0,02
M-67	43,8	2	3,8	tr.	43	0,09	0,00
M-66	58,6	11	1,4	12	28	0,03	0,02

TABLA 21

ANALISIS QUIMICO

YACIMIENTO PEREZ-BRIAN

M-71

SiO ₂	47,08
Al ₂ O ₃	6,90
Fe ₂ O ₃	4,50
MgO	25,90
CaO	0,98
K ₂ O	0,12
Na ₂ O	0,23
H ₂ O 110°	4,23
H ₂ O 1000°	9,61
Suma total	99,35

TABLA 22

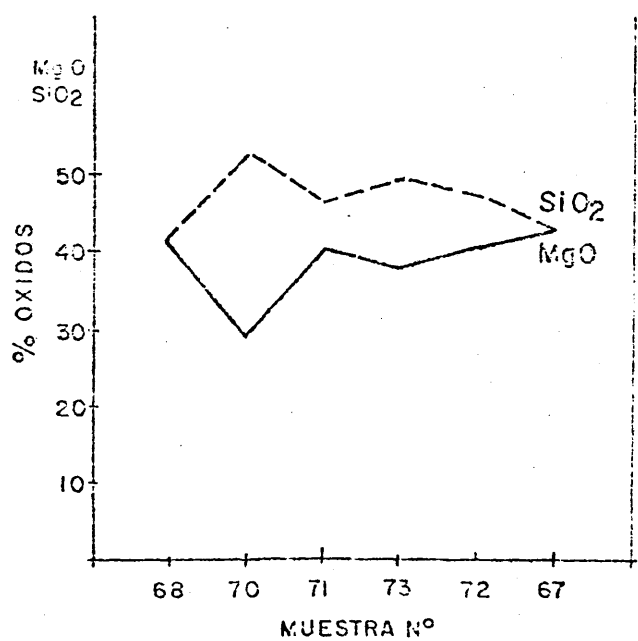
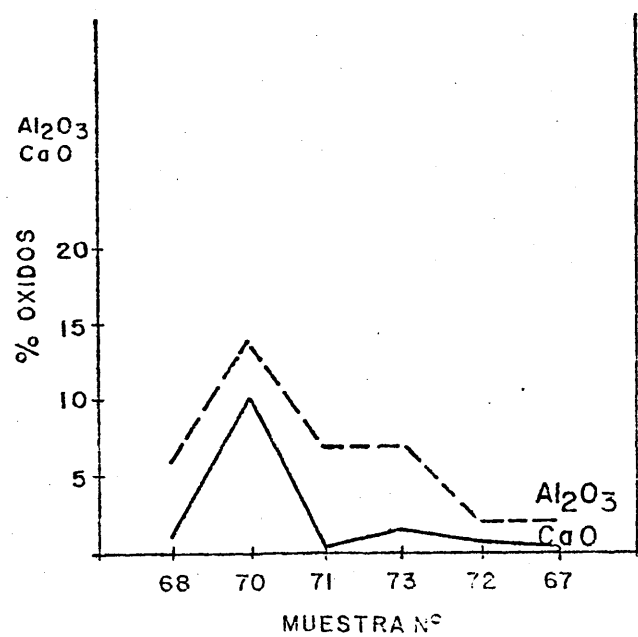
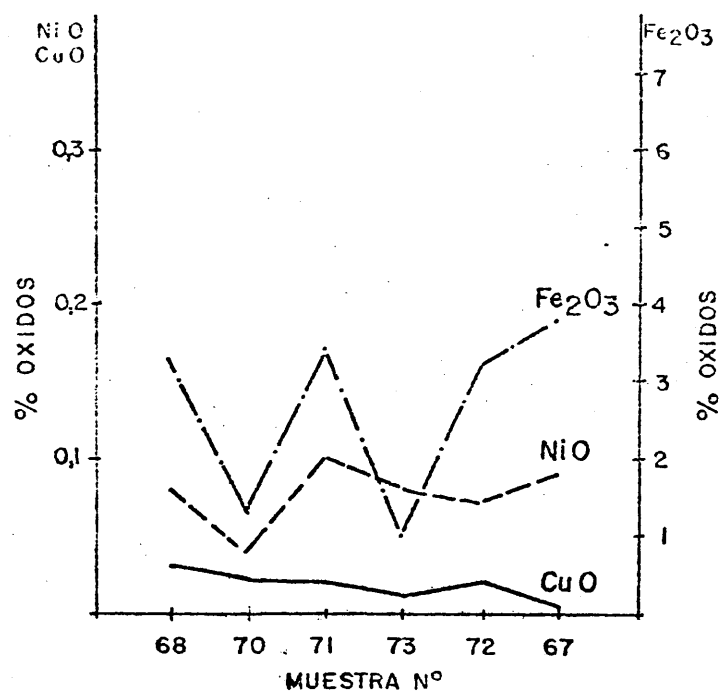


Fig. 26.

La relación SiO_2/MgO aumenta hacia la zona central con un máximo correspondiente a la muestra M-70 que, como se ha descrito ya anteriormente, tiene un alto contenido en tremolita. En esta misma muestra se observa un alto contenido en CaO y Al_2O_3 . La distribución del Al_2O_3 está en relación con la presencia de clorita.

La distribución del Fe_2O_3 parece corresponder con los contenidos en serpentina, resultando una distribución espacial algo irregular.

El contenido en NiO es bastante uniforme, con excepción de la muestra M-70 que por su composición mineralógica difiere de las restantes.

La irregular distribución mineralógica y química dentro del yacimiento concuerda con la distribución caótica de los minerales en la zona de fractura. Dado que el muestreo se ha efectuado en la zona en que la mineralización está ya prácticamente agotada y observando la potencia explotada, cabe pensar que la distribución mineralógica en el filón original fuera mucho más homogénea.

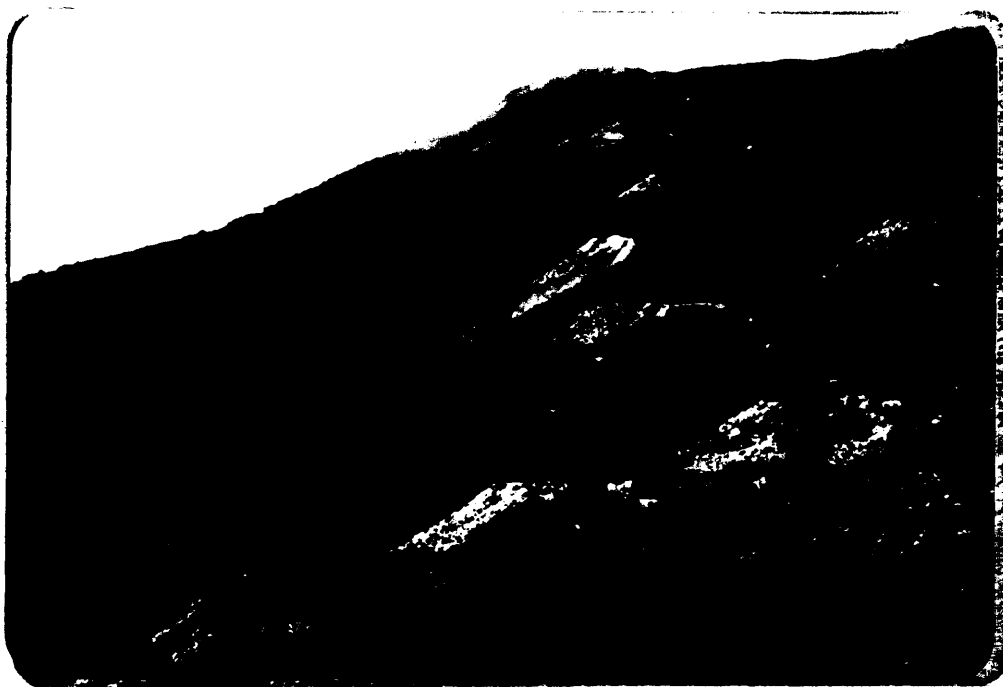
5.1.5. Yacimiento RAFAELA

a) Descripción y materiales estudiados

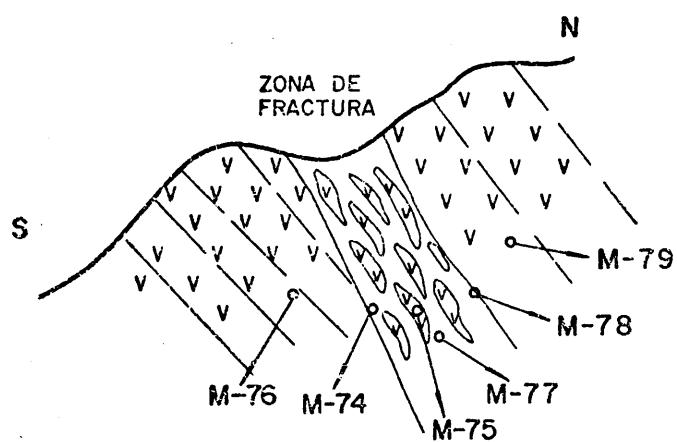
Al NW del cerro de los Linarejos se encuentra emplazado el yacimiento, en el cuadrante SW de la Hoja 1066 del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000 (Coin).

La zona mineralizada se encuentra sobre una fractura de dirección EW y buzamiento 50° N, cuya potencia varía entre 2 y 4 m. La fractura está dentro de la masa serpentínica. La mineralización no es masiva, sino que presenta el mismo sistema de mezcla de fragmentos con talco, descrito en MARINA y PEREZ-BRIAN (Fig. 29).

Se explotó en galerías, y actualmente se encuentra abandonada por dificultades en el transporte del mineral. Fue explotada en una corrida de 500 m.



YACIMIENTO RAFAELA



0 2m.

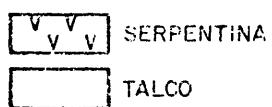


Fig. 29.

TABLA 23

YACIMIENTO RAFAELA

Muestra	Color	Caracteres Estructurales	Caracteres Texturales	Situación de la muestra en el yacimiento
M-76	Blanco verdoso	Masiva	Compacta, con pequeños nódulos más duros de serpentina en fase de transformación, estos nódulos están englobados dentro de la masa talcosa.	Hastial
M-74	Blanco verdoso	Masiva	Masa talcosa deleznable con nódulos en estado avanzado de talquización con clorita. Tamaño de cristal microscópico.	Masa explotada
M-75	Verde claro	Masiva	Abundan nódulos de serpentina talquizada rodeados de venillas de talco. Tamaño de cristal microscópico.	Masa explotada
M-77	Verde muy claro	Masiva	Textura nodular a gran escala, el talco se encuentra englobando nódulos de serpentina talquizados y cloritizados.	Masa explotada

TABLA 23 (continuación)

Muestra	Color	Caracteres Estructurales	Caracteres Texturales	Situación de la muestra en el yacimiento
M-78	Verde claro	Masiva	Compacta con pequeñas venas de talco que atraviesan la muestra. Tamaño de los cristales es heterogéneo.	Hastial
M-79	Verde oscuro	Masiva	Compacta, con zonas más alteradas relacionadas con las venillas que recorren la muestra. Tamaño de grano heterogéneo.	Hastial

b) Resultados experimentales y discusión

Los resultados del análisis mineralógico por difracción de Rayos-X se recogen en la tabla 24. Como se puede observar las mineralizaciones dominantes en este yacimiento son: talco, clorita y serpentina.

La distribución mineralógica se muestra en la figura 30 construída de la misma forma que en los anteriores yacimientos. De ella puede deducirse que ambos hastiales están constituidos fundamentalmente por serpentina. La concentración de talco no guarda una relación simétrica en el yacimiento, ya que al presentarse en venillas envolviendo fragmentos de serpentina presenta una forma irregular de aparición. La clorita tiene una distribución más o menos irregular en el yacimiento y de la figura puede deducirse que guarda una relación inversa con la serpentina.

El término de clorita corresponde a la variedad talco-clorita determinada de igual forma que en los anteriores yacimientos, y se ha calculado para la muestra M-77.

Como en anteriores yacimientos para comprobar los resultados del análisis cuantitativo por difracción de Rayos-X se ha cuantificado también la mineralogía a partir de los datos obtenidos del estudio termoponderal sobre la muestra M-77 constituida por clorita, talco y serpentina.

En la figura 31 se presenta el diagrama del análisis termogravimétrico de la muestra M-77 en la que se observan tres efectos de pérdida de peso principales. El primero entre 20^o y 250^o C que representa una pérdida del 0,5 % correspondiente a la pérdida de agua absorbida. El segundo escalón que comienza hacia los 400^o C para finalizar a los 700^o C le corresponde una pérdida del

COMPOSICION MINERALOGICA CUANTITATIVA POR DIFRACCION DE RAYOS-X

YACIMIENTO RAFAELA

Muestra	Talco	Clorita	Serpentina
M-76	30	15	55
M-74	40	15	45
M-75	35	20	45
M-77	25	60	15
M-78	10	40	50
M-79	5	45	50

TABLA 24

COMPOSICION MINERALOGICA

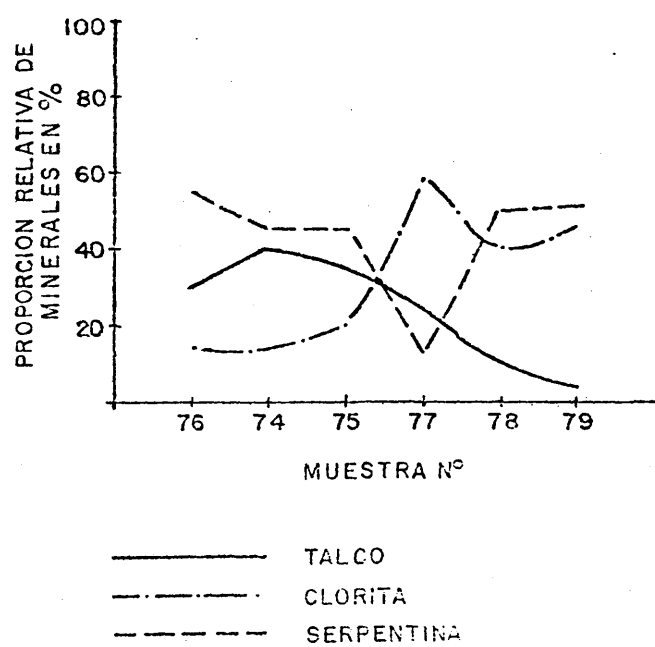


Fig. 30.

TG M-77

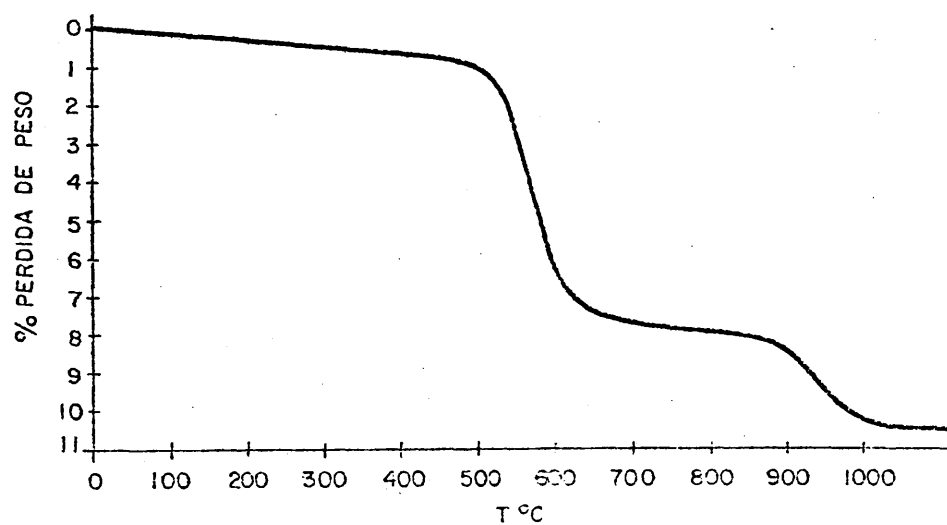


Fig. 1.

7,5 % que se debe atribuir a la deshidroxilación de la serpentina. El tercer escalón comienza a los 800°C y finaliza a los 1.000°C. Le corresponde una pérdida del 10,6 % que debe atribuirse a la pérdida de agua en el talco.

A partir de estas pérdidas se han calculado los porcentajes de talco, clorita y serpentina en la muestra que hemos sintetizado en la tabla 10, y como puede apreciarse los resultados obtenidos por ambos métodos concuerdan considerablemente.

En la figura 32 podemos observar el espectro de infrarrojos de la muestra M-74. En él no se aprecian sustituciones del Mg por cationes pesados en la región 3.700 a 3.400 cm^{-1} , pero sí observamos una inflexión hacia los 3.575 cm^{-1} debida a la presencia de clorita en la muestra. Hacia la región 1020 cm^{-1} se ve la vibración de tensión del Si-O, y entre los 600 y 700 cm^{-1} inflexiones debidas a la serpentina. Por último, también aparecen entre 600 y 350 cm^{-1} vibraciones típicas de una capa trioctaédrica.

Del estudio óptico cabe destacar la existencia de algún cristal de espinela y la existencia de piroxenos muy alterados, que no aparecen en el estudio mineralógico por difracción de Rayos-X. La estructura mallada observada en la serpentina es propia del término antigorita.

Al microscopio electrónico observamos que la muestra M-74 está compuesta por talco y serpentina y algo de clorita. En la microfotografía contemplamos el aspecto micáceo del talco (fig. 33).

En la tabla 25 se presentan los resultados obtenidos del análisis químico realizado por fluorescencia de Rayos-X. Para comprobar estos resultados también se ha realizado un análisis químico de las muestras M-74 y M-77 pertenecientes al yacimiento.

ESPECTROS DE INFRARROJOS

MUESTRA N°74

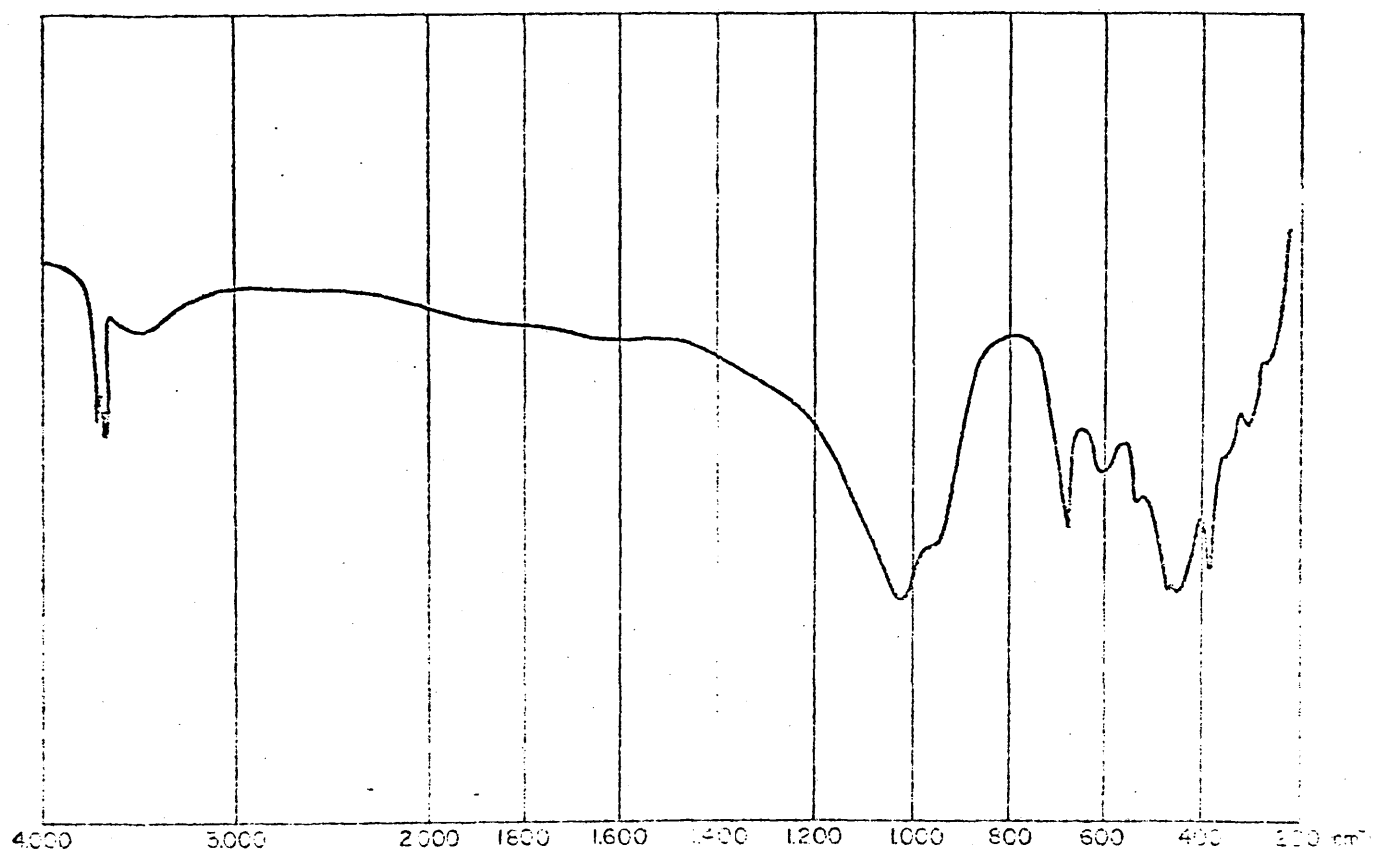


Fig. 82.



Fig. -33.

ANÁLISIS QUÍMICO POR FLUORESCENCIA DE RAYOS-X

YACIMIENTO RAFAELA

Muestra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	NiO	CuO
M-76	48	9	2,5	tr.	42	0,06	0,02
M-74	51,7	9	1,2	tr.	40	0,08	0,01
M-75	47,5	10	1,4	1	44	0,06	0,01
M-77	54,1	12	0,31	tr.	40	0,08	0,02
M-78	52,9	11	1,31	2	42	0,05	0,01
M-79	44,7	10	1,8	tr.	44	0,06	0,01

TABLA 25

La concordancia entre ambos resultados es buena. (Tablas 26 y 27).

La distribución espacial de los elementos perpendicularmente al yacimiento está completamente relacionada con la distribución irregular del talco y la serpentina en el filón (Fig. 34). Al encontrarnos con una tectónica de fracturas en la que las venillas de talco rodean bloques de serpentina en diversas fases de alteración, la relación SiO_2/MgO aumenta en las zonas correspondientes a las muestras M-74 y M-77, disminuyendo en el centro del filón y en los hastiales.

La distribución del Al_2O_3 de las muestras concuerda con la composición mineralógica, el máximo lo presenta la muestra M-77 que a su vez es la más rica en clorita. La distribución del hierro parece coincidir con los contenidos en serpentina, aumentando los hastiales y con una distribución irregular en el centro del filón. El contenido en NiO es bastante uniforme y las variaciones de CuO son prácticamente nulas a lo largo del yacimiento.

ANALISIS QUIMICOYACIMIENTO RAFAELAM-74

SiO_2	52,24
Al_2O_3	6,25
Fe_2O_3	3,45
MgO	25,06
CaO	0,67
K_2O	0,06
Na_2O	0,25
$\text{H}_2\text{O}_{110^\circ}$	0,69
$\text{H}_2\text{O}_{1000^\circ}$	7,59
Suma total	99,26

TABLA 26

ANALISIS QUIMICO

YACIMIENTO RAFAELA

M-77

SiO ₂	57,08
Al ₂ O ₃	3,10
Fe ₂ O ₃	2,27
MgO	29,62
CaO	0,42
K ₂ O	0,06
Na ₂ O	0,34
H ₂ O 110°	0,33
H ₂ O 1000°	6,53
Suma total	99,75

TABLA 27

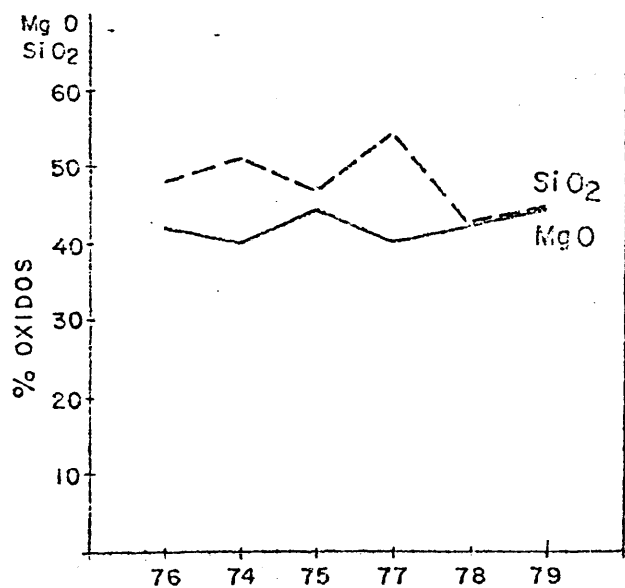
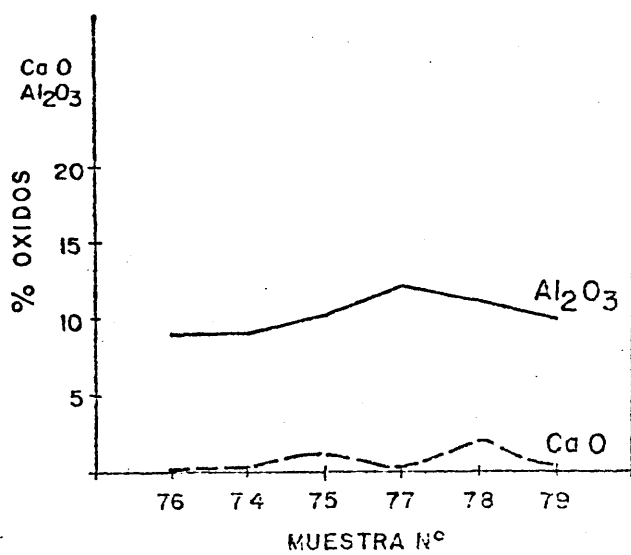
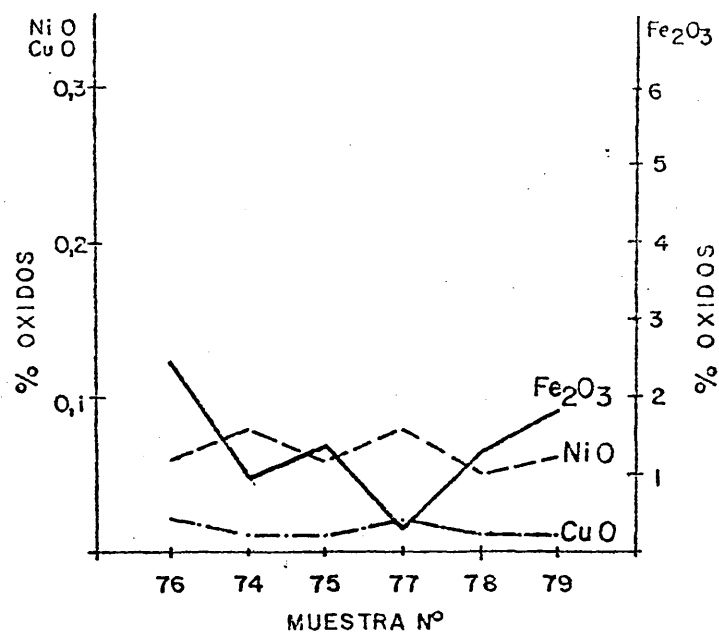


Fig. 34.

5.1.6. Yacimiento MARIA DEL PILAR

a) Descripción y materiales estudiados

En el encuadre SW de la Hoja Topográfica nº 1066 (Coin) del Mapa Nacional a escala 1:50.000, al NW del cerro Granizo, se encuentra localizado el yacimiento, con unas coordenadas medias: Longitud $4^{\circ} 50' 0,83''$ y Latitud $36^{\circ} 32' 28,20''$.

La zona mineralizada se encuentra en una fractura de dirección $N 100^{\circ} E$, inclinada al sur y dentro de la masa serpentínica, aunque cerca del contacto con los gneises y mármoles del complejo maláguide. (Fig. 35)

El talco se presenta asociado a fragmentos de serpentina en fase de alteración muy avanzada, aunque aún claramente visibles.

La potencia de la zona mineralizada con talco es de 2 ó 3 m. y unos 50 m. en longitud.

Actualmente se encuentra abandonada.

YACIMIENTO M^a DEL PILAR

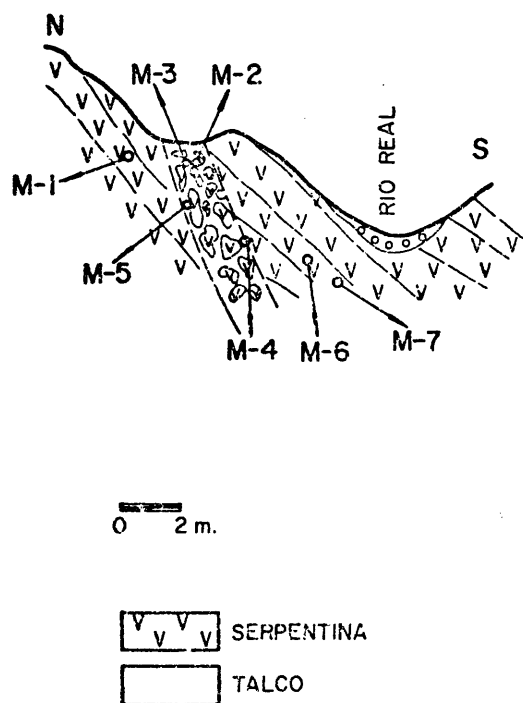


Fig. 35.

TABLA 28

YACIMIENTO MARIA DEL PILAR

Muestra	Color	Caracteres		Situación de la muestra en el yacimiento
		Estructurales	Caracteres Texturales	
M-1	Verde oscuro	Masiva	Roca cubierta con una pátina de alteración superficial que le da un aspecto pardo con óxidos de hierro. Fractura concoidea, dureza media.	Hastial
M-5	Verde oliva	Masiva	Roca más suave que la anterior. Recorren a la muestra venillas de materiales más fibrosos, ro- deando a minerales más oscuros; podrían ser menas metálicas; muy alterada superficialmente.	Contacto con el hastial.
M-3	Verde claro	Masiva	Material deleznable, suave al tacto, blanco, tamaño de grano microscópico.	Masa explotada
M-2	Verde muy claro	Masiva	Material deleznable, totalmente talcoso, con existencia de zonas más duras dentro de la masa. Alteración superficial con óxidos de hierro	Masa explotada

TABLA 28 (continuación)

Muestra	Color	Caracteres		Situación de la muestra en el yacimiento
		Estructurales	Caracteres Texturales	
M-4	Verde oscuro	Masiva	Material terroso, deleznable, con zonas fibrosas, con partes más duras dentro de la misma muestra.	Contacto con el hastial
M-6	Verde oscuro con venas más oscuras, casi negras.	Masiva	Compacta, con pátina de alteración superficial metébrica. Tamaño de grano microscópico.	Hastial
M-7	Verde oscuro con venillas más oscuras, casi negras.	Masiva	Compacta bastante uniforme, tamaño de grano microscópico.	Hastial

b) Resultados experimentales y discusión

En la tabla 29 se recogen los resultados del análisis mineralógico por difracción de Rayos-X. Como puede observarse los minerales dominantes en este yacimiento son talco, clorita y serpentina, apareciendo tremolita, cuarzo y dolomita en cantidades insignificantes en algunas muestras del yacimiento.

En la figura construida a partir de los resultados mineralógicos, y de igual forma en los anteriores yacimientos, se puede observar que los hastiales están constituidos fundamentalmente por serpentina, el talco y la clorita aparecen concentrados en el centro del filón y que la aparición de tremolita se centra sobre uno de los hastiales. La dolomita, aunque puramente incipiente parece tener relación con la aparición del talco, cosa que no ocurre con el cuarzo que aparece arbitrariamente en todo el yacimiento formando pequeñas venillas en toda la zona, aprovechando fracturas sin una dirección predominante (Fig. 36).

El tipo de serpentina corresponde a la variedad antigorita y ha sido determinada de igual forma que los yacimientos anteriores. El estudio se realizó sobre la muestra M-6.

La clorita ha sido determinada como ya se ha descrito, por el método de PETRUK (1. 964) y corresponde al término talco-clorita, determinada en la muestra M-4.

Para comprobar los resultados del análisis cuantitativo por difracción de Rayos-X se ha realizado un estudio termoponderal en la muestra M-2 cuantificándose la mineralogía. La muestra está compuesta fundamentalmente por talco, clorita y cuarzo, como puede observarse en la tabla 10 los resultados coinciden sustancialmente.

COMPOSICION MINERALOGICA CUANTITATIVA POR DIFRACCION DE RAYOS-X

YACIMIENTO MARIA DEL PILAR

Muestra	Talco	Clorita	Serpentina	Tremolita	Cuarzo	Dolomita
M-1	5	20	75	-	-	-
M-5	10	5	85	-	-	-
M-3	45	55	-	-	-	-
M-2	50	45	-	-	5	5
M-4	10	50	30	10	-	-
M-6	5	-	95	-	5	-
M-7	5	Indicios	95	-	-	-

TABLA 29

COMPOSICION MINERALOGICA

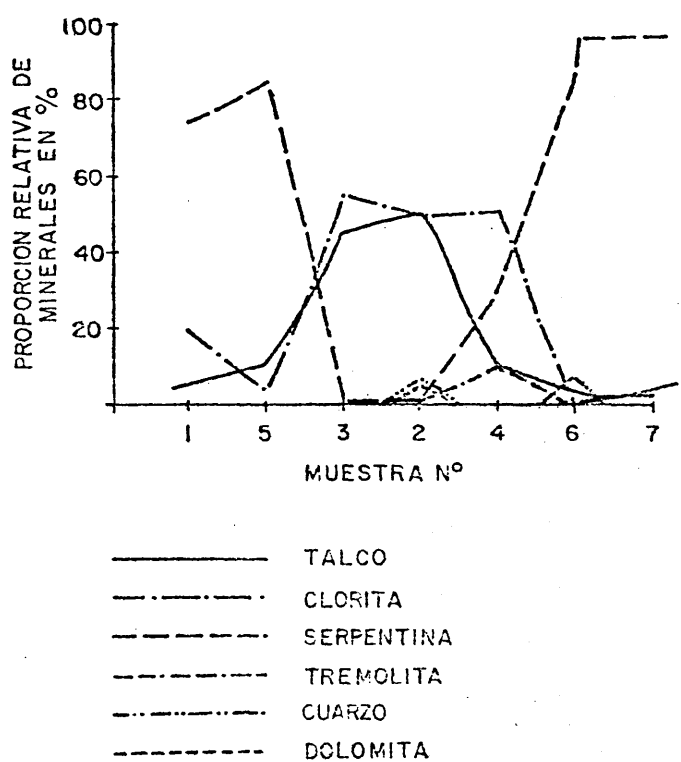


Fig. 36.

En la figura 37 se presenta el diagrama del análisis termogravimétrico de la muestra M-2 en la que podemos observar tres efectos de pérdida de peso principales. El primero entre 10 y 250°C que representa una pérdida de agua absorbida del 3,32 %, al segundo escalón que empieza hacia los 500°C y finaliza hacia los 700°C, le corresponde una pérdida del 3,96, y se debe atribuir a la deshidroxilación de la clorita. El tercer escalón comienza a los 800°C hasta los 1000°C, con una pérdida del 7,79 %, correspondiente al talco. El cuarzo se ha calculado por diferencia.

En la figura 38 se puede observar el espectro de infrarrojos obtenido para la muestra M-2. No se han observado sustituciones de Mg por cationes pesados en la capa octaédrica, pero en el espectro si se pueden ver las dos bandas a 3.540 y 3.420 cm^{-1} correspondientes a la existencia de clorita. Las bandas que aparecen a 3.400 y 1.630 cm^{-1} corresponden al agua que lleva el BrK empleado en la preparación de las pastillas para el análisis. A 1.020 cm^{-1} presenta otra banda propia de una vibración de tensión de Si-O, hacia los 680 cm^{-1} aparece una banda que según RUSSEL et al. (1.970) es producida por una vibración de deformación Si-O. Y finalmente en la zona entre 600 y 350 cm^{-1} la serie de bandas correspondientes a vibraciones de una capa trioctaédrica.

Cuando las rocas presentan un grado de talquización avanzado aparecen relictos de piroxenos rómbicos de la serie enstatita-hiperstena, con granos de magnetita de tamaño pequeño, cromita con bordes de grano periféricos de magnetita totalmente fracturada y alterada.

La serpentina conserva su estructura mallada típica, en la que la magnetita se distribuye a lo largo de fracturas, aparecen granos de pirita fracturada, cataclástica. También se pueden observar en este tipo de rocas granos de magnetita con inclusio-

TG M-2

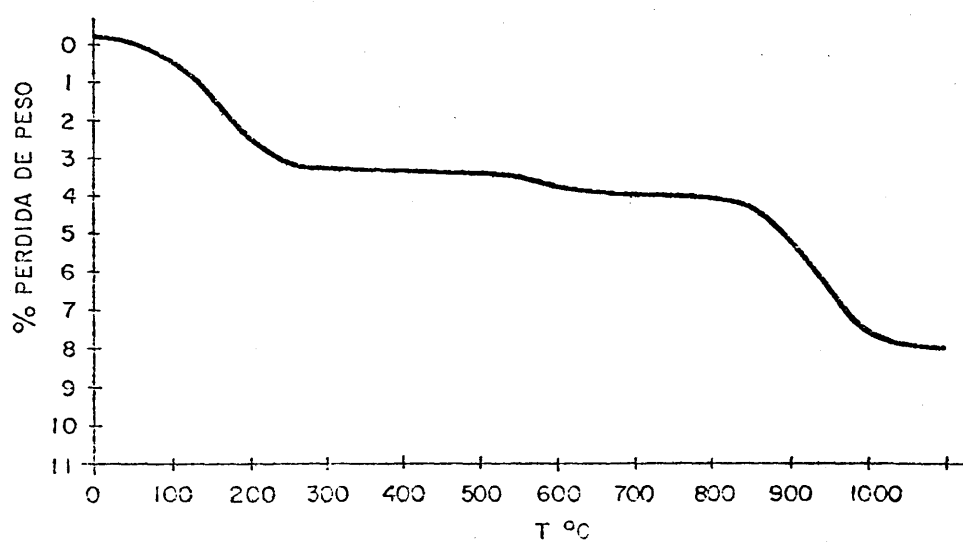


Fig. 87.

ESPECTROS DE INFRARROJOS

MUESTRA N° 2

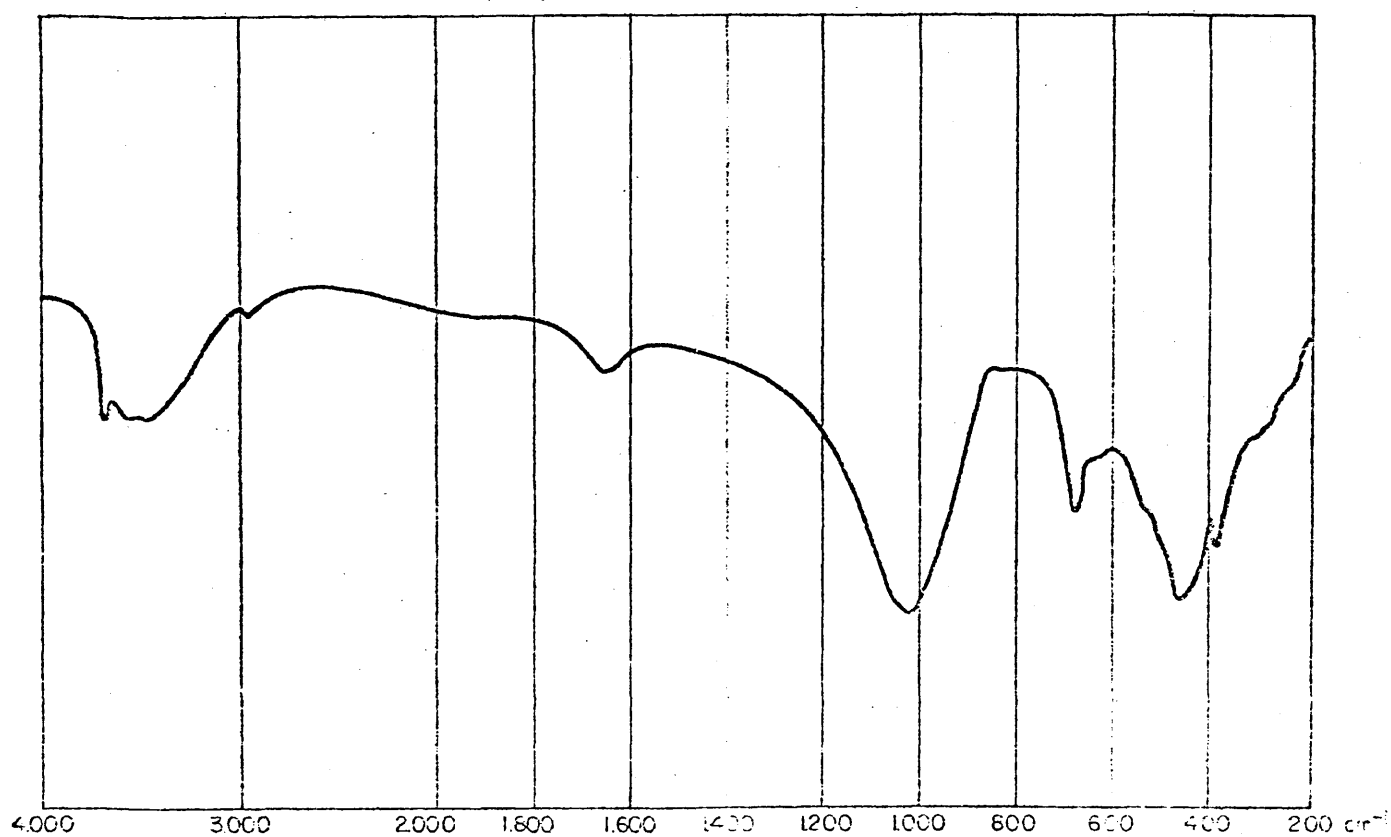


Fig. 38.

nes de pirita frecuentes, y aparecen granos aislados de espinelas.

En la tabla 30 se presentan los resultados obtenidos del análisis químico por fluorescencia de Rayos-X. Para comprobar estos resultados se ha realizado un análisis químico de la muestra M-2 perteneciente al yacimiento. El uso de los porcentajes obtenidos por fluorescencia de Rayos-X para estudiar la distribución espacial de los elementos a lo largo del yacimiento está justificada dada la concordancia de los resultados.

La distribución de los elementos perpendicularmente al yacimiento sigue una pauta similar a la distribución mineralógica ya comentada (Fig. 39).

La relación SiO_2/MgO aumenta hacia la zona central lo que indica un proceso de silicificación relativo.

La distribución del aluminio es más o menos uniforme a lo largo del yacimiento con un ligero aumento en las muestras M-3 y M-4 que presentan un mayor contenido en clorita. No ocurre lo mismo con el CaO ya que aumenta en aquellas muestras que tienen carbonatos en su composición. La distribución del hierro a lo largo del yacimiento es bastante irregular, sin embargo el contenido en níquel parece relacionarse con el alto contenido en talco y clorita. El cobre sigue una evolución totalmente constante en todo el filón.

ANALISIS QUIMICO POR FLUORESCENCIA DE RAYOS-X

YACIMIENTO MARIA DEL PILAR

Muestra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	NiO	CuO
M-1	43,4	13	2,1	2	36	0,21	0,02
M-5	42,5	11	4,2	tr.	41	0,23	0,03
M-3	47,8	14	3,3	2	33	0,23	0,02
M-2	46,2	13	5,0	5	31	0,34	0,02
M-4	42,8	13	4,8	7	31	0,24	0,02
M-6	45,8	8	4,6	1	40	0,24	0,02
M-7	40,8	10	4,7	tr.	40	0,29	0,02

TABLA 30

ANALISIS QUIMICO

YACIMIENTO MARIA DEL PILAR

M-2

SiO ₂	49,94
Al ₂ O ₃	6,80
Fe ₂ O ₃	2,26
MgO	23,64
CaO	1,82
K ₂ O	0,27
Na ₂ O	0,12
H ₂ O 110°	0,17
H ₂ O 1000°	6,64
Suma total	99,30

TABLA 31

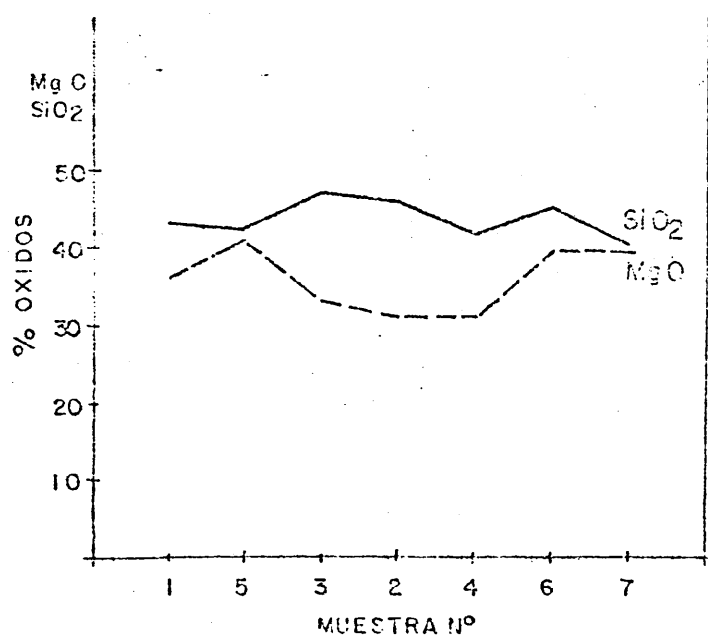
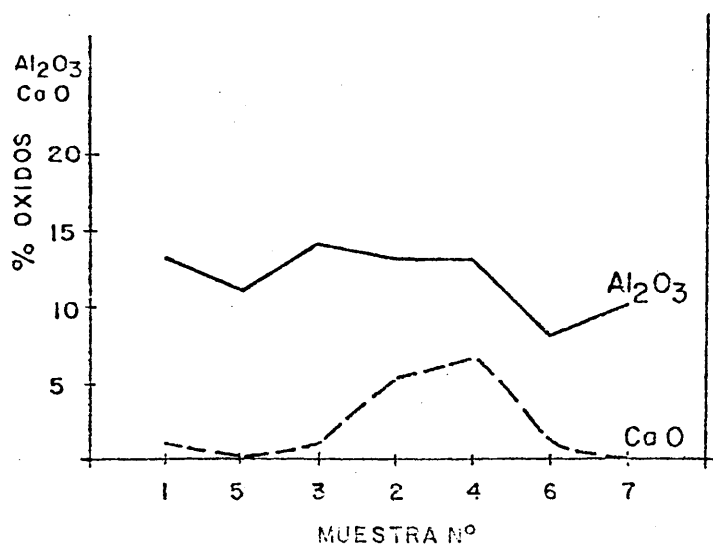
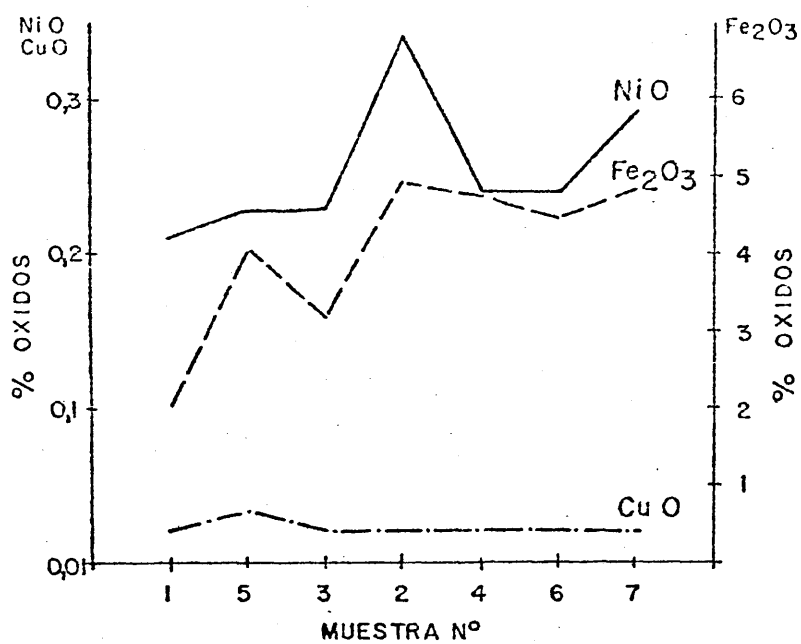


Fig. 29.

5.2. Area-Sierra Bermeja

A. - Yacimientos asociados a fracturas dentro de la serpentina

5.2.1. Yacimiento COSTA DEL SOL

a) Descripción y materiales estudiados

El yacimiento está localizado en las cercanías del pantano de Cancelada, situado en el cuadrante NW de la Hoja nº 1072 del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000 (Estepona), teniendo de coordenadas medias: Longitud $5^{\circ} 2' 24''$ y Latitud $36^{\circ} 28' 13,8''$

La mineralización se encuentra a lo largo de un sistema de fallas de dirección N 20° E la principal y N 120° E y N 70° E las secundarias. El depósito más importante se encuentra a lo largo de la primera, pero las otras también están mineralizadas en menor cantidad. Los hastiales están formados por serpentinas de aspecto brechoide sin orientación visible.

La mineralización se desarrolla irregularmente; en la parte norte de la zona explotada hay grandes lentejones de talco, mientras que hacia el sur se encuentran fragmentos de todos los tamaños de minerales fibrosos, englobados en una masa talcosa y en diversos estadios de transformación (Fig. 40).

Observando uno de los fragmentos que se puede considerar como típico, aparece una estructura concéntrica a sus bordes compuesta de fuera a dentro de las siguientes capas: talco con textura fibrosa, a veces asociado a anfiboles asbestíferos; serpentina muy alterada con óxidos de Fe libres y talco diseminado; serpentina alterada de color verde oliva, que conserva su textura original.

YACIMIENTO COSTA DEL SOL

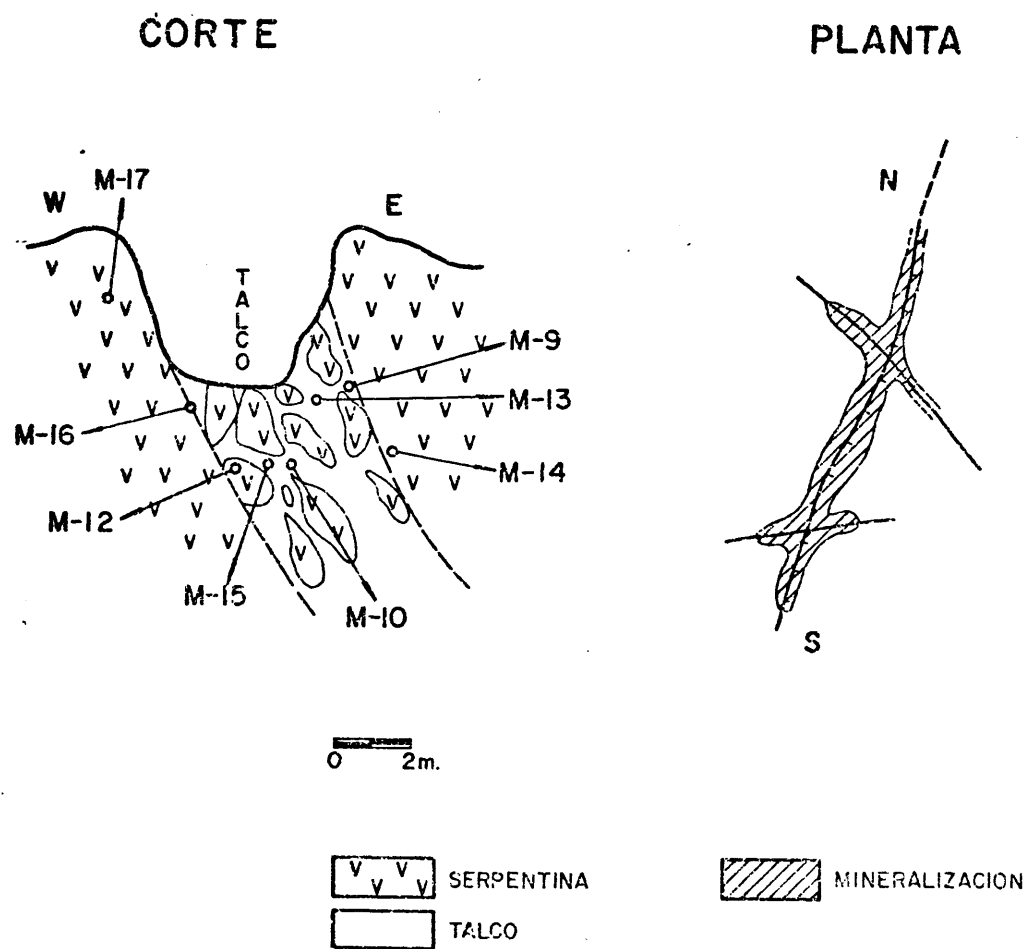


Fig. 40.



Yacimiento Costa del Sol. Aspecto general del filón abandonado.



Detalle de los bolos de serpentina parcialmente talquizados.

Fig. 40.

TABLA 32

YACIMIENTO COSTA DEL SOL

Muestra	Color	Caracteres Estructurales	Caracteres Texturales	Situación de la muestra en el yacimiento
M-17	Verde oscuro	Masiva	<p>Compacta cristalina. Tamaño de grano microscópico. Fractura concoidea. Muy dura. Aparecen minerales muy oscuros. Pátina de alteración superficial dándole un aspecto pardo rojizo.</p>	Hastial
M-16	Verde oscuro	Masiva	<p>Compacta cristalina, con minerales claros fibrosos. Hay zonas más alteradas a talco que le dan un tacto más suave y la dureza disminuye. También se observan pequeñas venillas de minerales más claros que atraviesan la roca. El contacto entre los minerales claros y la serpentina es bastante neto.</p>	Contacto con el hastial.

TABLA 32 (continuación)

Muestra	Color	Caracteres		Situación de la muestra en el yacimiento
		Estructurales	Texturales	
M-12	Blanco verdoso		Serpentina muy alterada a talco, con gran pátina de alteración superficial, que le da mayor suavidad al tacto, así como una disminución de la dureza.	Contacto con el hastial.
M-15	Blanco verdoso	Masiva, en forma de nódulos.	Roca muy deleznable, suave al tacto. Forma un conjunto el talco con minerales fibrosos, alterando zonas muy blandas con otras más duras. Hay partes en las que se pueden observar capas superpuestas, fácilmente separables.	Masa explotada

TABLA 32 (continuación)

Muestra	Color	Caracteres		Situación de la muestra en el yacimiento
		Estructurales	Texturales	
M-10	Verde claro	Masiva	Compacta cristalina, tamaño de grano microscópico. En la muestra se pueden observar sobre una masa clara la existencia de minerales más oscuros verdosos con menas metálicas alteradas, también aparecen pequeñas venillas de minerales claros que lo atraviesan. Está recubierta de una pátina de alteración superficial que le da mayor suavidad.	Masa explotada
M-13	Blanco verdoso	Masiva	De aspecto deleznable, se puede separar en fibras y capas; están mezclados los minerales fibrosos.	Masa explotada

TABLA 32 (continuación)

Muestra	Color	Caracteres		Situación de la muestra en el yacimiento
		Estructurales	Texturales	
M-9	Blanco verdoso	Masiva	En la roca se pueden observar dos tipos de textura: una fibrosa, correspondiente a los minerales cloros y fibrosos y otra deleznable con brillo sedoso, suave al tacto, correspondiente a los minerales talquizados. Aparece pátina de alteración superficial, con desprendimiento de óxidos de hierro.	Masa explotada, en contacto con el hastial.
M-14	Blanco verdoso	Masiva	Roca similar a la anterior. Aquí el talco forma pequeños nódulos de tamaño variable, también aparecen minerales fibrosos con su textura característica. Hay zonas que presentan una gran pátina de alteración superficial.	Hastial

b) Resultados experimentales y discusión

Los resultados del análisis mineralógico por difracción de Rayos-X se recogen en la tabla 33. Los minerales dominantes en este yacimiento son: talco, clorita, serpentina y tremolita.

De la distribución mineralógica que se muestra en la figura 41, construída como se ha indicado anteriormente, podemos observar que los hastiales están constituidos por serpentina. El talco se sitúa preferentemente en el centro del filón, y la clorita y la tremolita presentan una distribución irregular a lo largo del yacimiento.

El término de clorita corresponde a variedad talco-clorita determinada, como ya se expuso anteriormente.

La variedad serpentínica determinada, corresponde también al tipo antigorita.

Como en los demás yacimientos, para comprobar los resultados del análisis cuantitativo por difracción de Rayos-X se ha cuantificado la mineralogía a partir de los datos obtenidos del estudio termoponderal sobre las muestras M-10 y M-18, constituidas por talco y clorita, la primera y por serpentina, la segunda.

En la figura 42 se representan las curvas TG de las muestras M-10 y M-18. En la muestra M-10 se pueden observar tres efectos de pérdida de peso principales. El primero entre 20° y 250° C que representa una pérdida del 1,08 %, correspondiente a la pérdida de agua absorbida. El segundo escalón que comienza hacia los 400° para finalizar a los 600° C le corresponde una pérdida del 4,87 % que se debe atribuir a la deshidroxilación de la clorita. Al tercer es-

ANALISIS MINERALOGICO CUANTITATIVO POR DIFRACCION DE RAYOS -X

YACIMIENTO COSTA DEL SOL

Muestra	Talco	Clorita	Serpentina	Tremolita	Dolomita	Plagioclasas
M-17	Indicios	-	100	-	-	-
M-16	10	30	40	20	-	-
M-12	10	-	90	-	-	-
M-15	25	15	10	50	-	-
M-10	60	40	-	-	-	-
M-13	30	35	-	35	-	-
M-9	10	70	-	20	-	-
M-14	5	-	55	40	-	-

TABLA 33

COMPOSICION MINERALOGICA

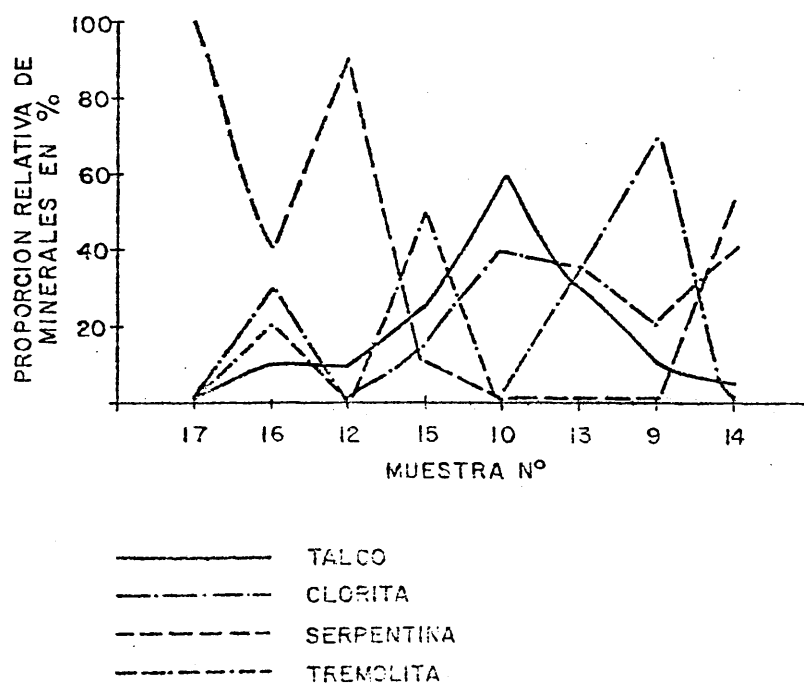
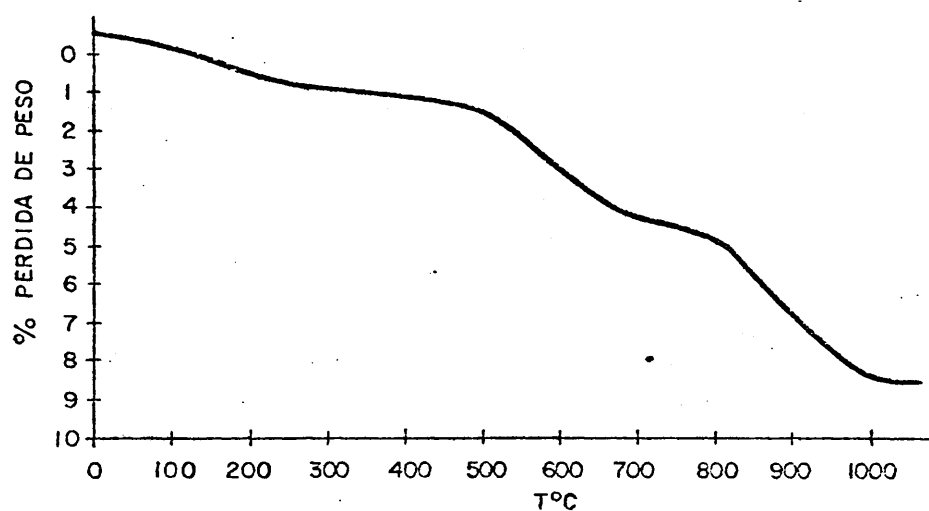


Fig. 41.

TG M-10



TG M-18

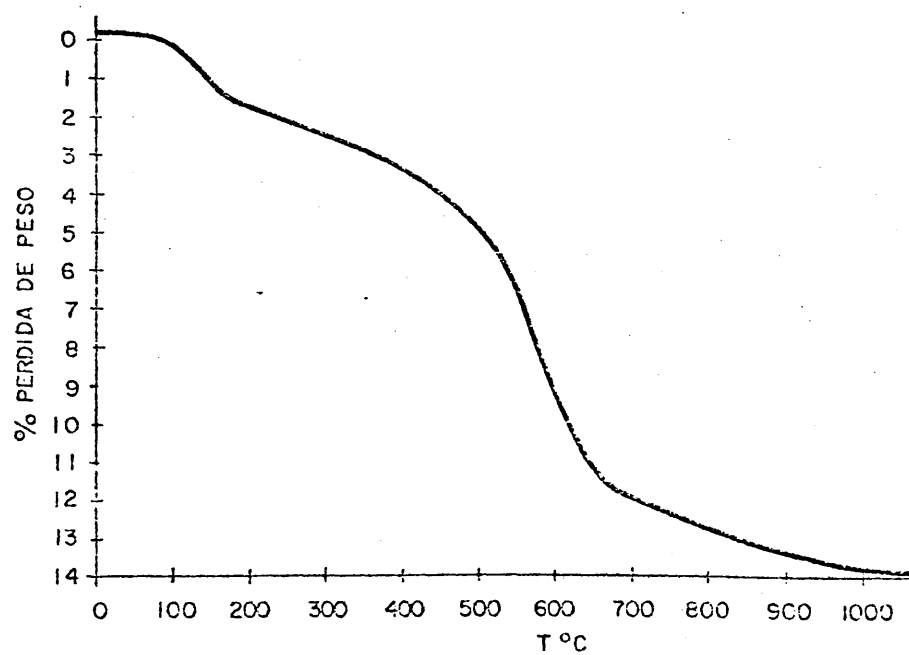


Fig. 42.

calón que comienza a los 800°C y finaliza a los 1000°C le corresponde una pérdida del 8,70 %, que debe atribuirse a la descomposición del talco.

En la figura 42, correspondiente al termograma de la muestra M-18, se pueden observar dos efectos de pérdida de peso principales. El primero entre 100° y 250° que representa una pérdida del 2,15 %, correspondiente a la pérdida de agua absorbida, incluida la zeolítica. El segundo escalón que comienza hacia los 400° para terminar hacia los $900\text{-}1000^{\circ}\text{C}$ con una pérdida del 14,32 % corresponde a la deshidroxilación de la serpentina.

A partir de estas pérdidas se ha calculado los porcentajes de los minerales de talco, clorita y serpentina, respectivamente, que se ha sintetizado en la tabla 10 y como puede apreciarse, los resultados obtenidos por ambos métodos concuerdan considerablemente.

En las figuras 43 y 44 se muestran los diagramas de infrarrojos, correspondientes a la muestra M-10. Como en anteriores yacimientos se ha rodado con fluorolube la región comprendida entre 3.600 y 3.700 cm^{-1} para poder observar las posibles sustituciones de Mg por cationes pesados divalentes. En la figura 43 se muestran las sustituciones de Mg por otros cationes en las bandas 3.659 y 3.652 cm^{-1} correspondientes a $2\text{Mg} + \text{M}$ y $1\text{Mg} + 2\text{M}$ respectivamente, siendo M cualquier catión pesado divalente (Fe, Ni, Co, Mn, etc.). En nuestro caso, M es Fe y Ni.

En la figura 44 se representa el espectro completo, observándose como en anteriores diagramas las bandas a 1016 cm^{-1} propia de una vibración de tensión Si-O y a 688 cm^{-1} correspondiente según RUSSEL et al. (1.970) a una vibración de deformación Si-O. Por último entre 600 y 350 cm^{-1} aparecen una serie de bandas tí-

ESPECTROS DE INFRARROJOS

MUESTRA N° 10

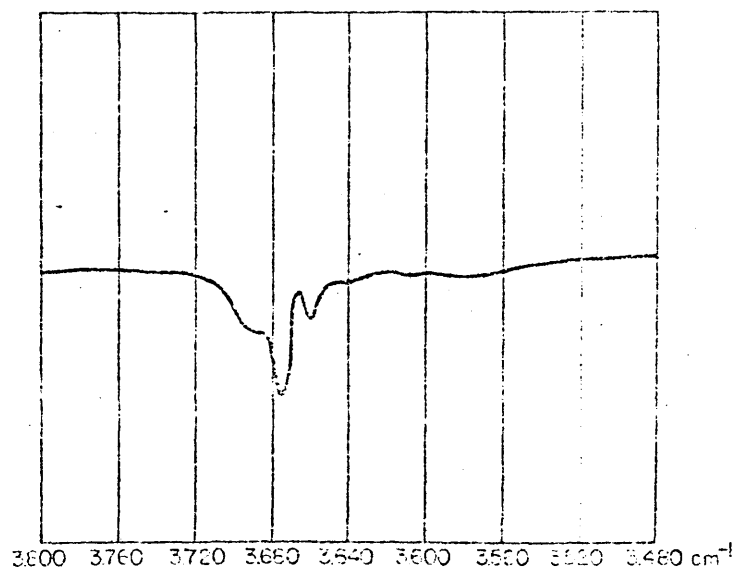
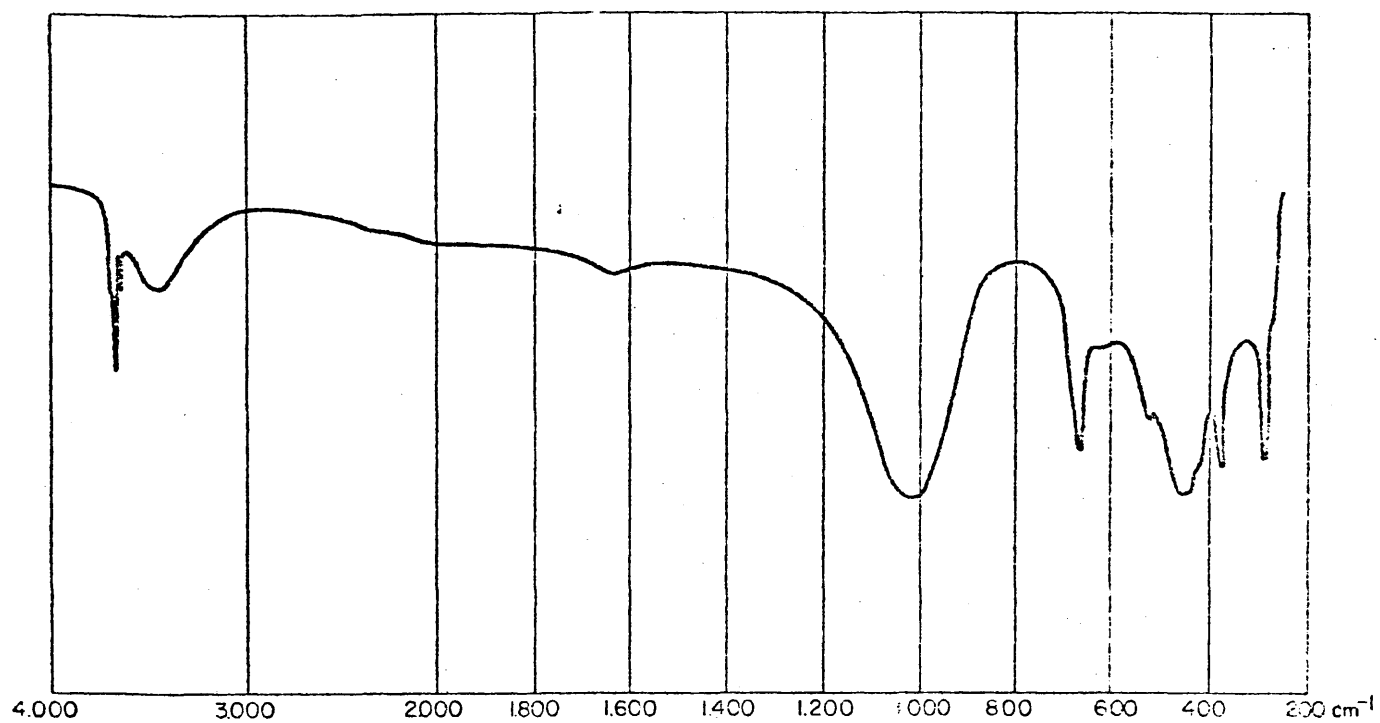


Fig. 43 y 44.

picas de las vibraciones de una capa trioctaédrica.

Del estudio por microscopía de luz reflejada se ha determinado magnetita en forma de pequeños granos, bordeando a espículas y rellenando pequeñas fracturas, y la existencia de cromita relacionada con la magnetita en cristales aislados.

Mediante el microscopio de luz transmitida se han podido observar las rocas serpentínicas en grado avanzado de talquización, con relictos de piroxenos rómbicos y anfíboles de la serie tremolita-actinolita muy transformados. También se ha podido observar en las zonas próximas a los hastiales la estructura entrecruzada fibroso laminar, típica de la variedad serpentínica antigorita.

Para comprobar el tipo de mineral asbestífero que apareció con abundancia en el yacimiento, se realizó un Láuegrama, con el que se pudo determinar que se trataba de un anfíbol de la serie tremolita-actinolita, lo que confirma el que los minerales fibrosos observados de visu y al microscopio electrónico son tremolitas. También mediante este análisis se comprobó que el tipo de serpentina se trataba de la variedad antigorita, anteriormente descrita.

En la figura 45, correspondiente a las microfotografías de la muestra M-10, se puede observar el aspecto micáceo del talco con un tamaño variable de partícula.

En la tabla 34 se presentan los resultados obtenidos del análisis realizado por fluorescencia de Rayos-X. Para comprobar estos resultados también se ha realizado un análisis químico de la muestra M-10, perteneciente al yacimiento. La concordancia entre ambos resultados es bastante alta lo que justifica el uso de los porcentajes obtenidos por fluorescencia de Rayos-X para estudiar la distribución espacial de los elementos a lo largo del yacimiento.

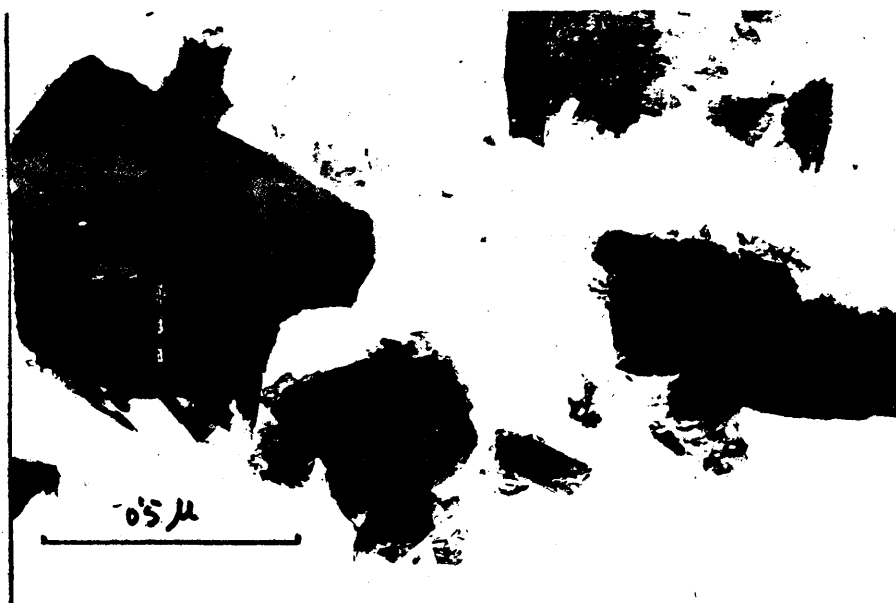


Fig. 45



Fig. 46

ANALISIS QUIMICO POR FLUORESCENCIA DE RAYOS-X

YACIMIENTO COSTA DEL SOL

Muestra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	NiO	CuO
M-17	43	11	4,4	tr.	42	0,29	0,05
M-16	45,8	10	3,6	3	35	0,22	0,06
M-12	41,2	9	4,6	1	41	0,33	0,02
M-15	54,2	9	1,4	6	31	0,22	0,02
M-10	50,4	8	5,4	tr.	34	0,17	0,03
M-13	52,1	9	2,3	2	38	0,18	0,02
M-9	42,0	13	2,5	3	37	0,17	0,03
M-14	50,2	11	3,1	4	31	0,20	0,02

TABLA 34

ANALISIS QUIMICO

YACIMIENTO COSTA DEL SOL

M-10

SiO ₂	44,98
Al ₂ O ₃	11,92
Fe ₂ O ₃	5,07
MgO	25,80
CaO	0,86
K ₂ O	0,08
Na ₂ O	0,16
H ₂ O 110°	1,79
H ₂ O 1000°	1,99
Suma total	100,65

TABLA 35

La distribución espacial de los elementos perpendicularmente al yacimiento no sigue una pauta simétrica, pues como podemos observar en el esquema geológico, al no aparecer el talco en forma masiva, sino mezclado con grandes bloques de serpentina parcialmente talquizados, la relación SiO_2/MgO varía aumentando en aquellas zonas en que la mineralogía se simplifica, apareciendo talco . . . prácticamente puro (Fig. 47).

La distribución del Al_2O_3 concuerda con la mineralogía, apareciendo la máxima concentración en aquellas muestras que son más ricas en clorita. La aparición de calcio parece estar relacionado con la presencia de tremolita.

La distribución del Fe_2O_3 parece estar en relación con la distribución de serpentina y la del CuO y del NiO es irregular y no está relacionado aparentemente con la mineralogía. Se debe destacar que los porcentajes de NiO en este yacimiento son bastante más altos que en los hasta este momento estudiados.

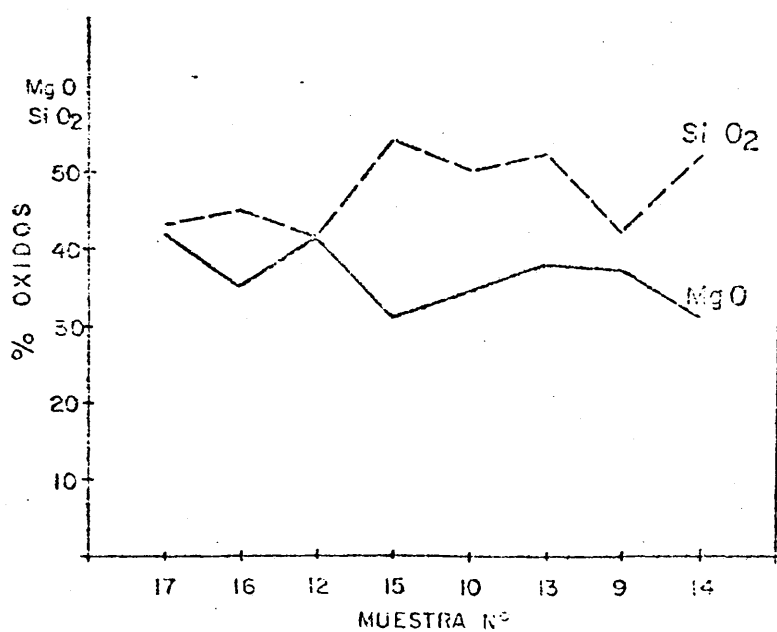
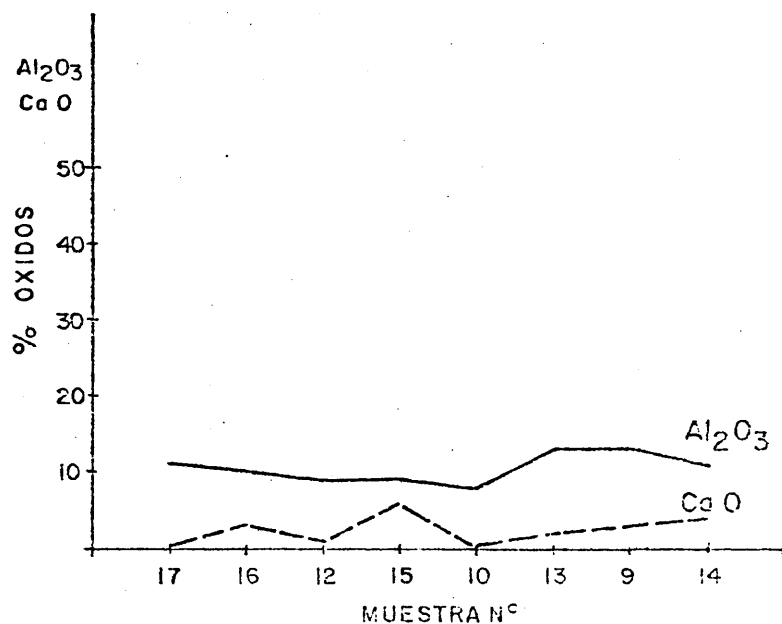
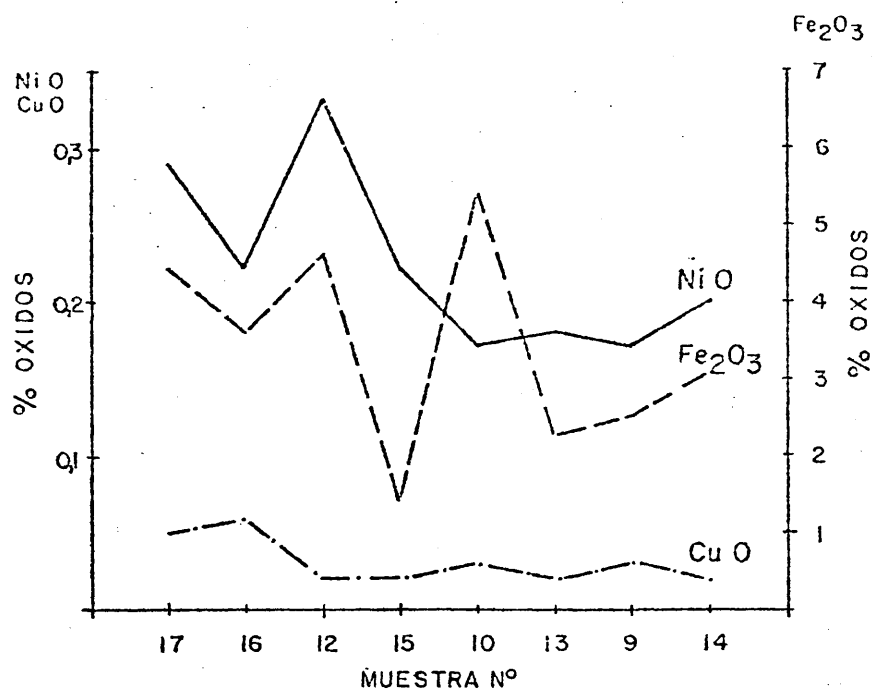


Fig. 47.

5.2.2. Yacimiento MAJESTUOSA

a) Descripción y materiales estudiados

El yacimiento está situado al W de la carretera a Benahavis, hacia el Km. 3, en el cuadrante SW de la Hoja 1065 del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000 (Marbella) teniendo de coordenadas medias: Longitud $5^{\circ} 2' 7,8''$ y Latitud $36^{\circ} 30,31' 16,2''$.

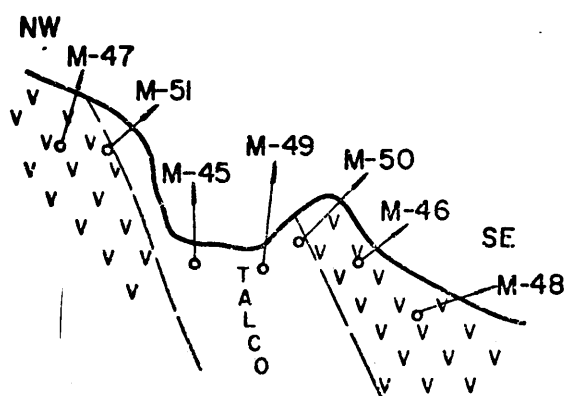
La mineralización se encuentra a lo largo de una fractura de dirección N 50° E y plano de falla inclinado 60° NW. Hay una serie de diaclasas ortogonales a esta fractura principal que también están mineralizadas. El depósito principal tiene de unos 4 a 5 m. de potencia y unos 100 m. de corrida, aunque en realidad sólo los 2 m. centrales poseen talco en abundancia. El talco rodea fragmentos de serpentina de diversos tamaños. La serpentina que arma el filón de talco tiene un color verde muy oscuro y aspecto brechoide (Fig. 48)

La observación de este yacimiento es más difícil que la de los anteriormente descritos, debido a que ha sido abandonada su explotación hace ya muchos años y la especial textura brechoide del mineral de la roca encajante que se encuentra en forma de derrumbes.

YACIMIENTO MAJESTUOSA

CORTE

PLANTA



0 2m

 SERPENTINA
 TALCO


 ZONA MINERALIZADA

Fig. 48.

YACIMIENTO MAJESTUOSA

Muestra	Color	Caracteres Estructurales	Caracteres Texturales	Situación de la muestra en el yacimiento
M-47	Verde oliva oscuro	Masiva	Roca compacta cristalina con tamaño de grano microscópico. Superficialmente con gran alteración que le da aspecto oqueroso. Aparecen menos metálicas muy alteradas.	Hastial
M-51	Verde oscuro	Masiva	Compacta, cristalina con tamaño de grano microscópico. El talco aparece rellenando pequeñas fracturas microscópicas. Se pueden observar minerales metálicos al microscopio. Gran pátina de alteración superficial.	Contacto con el hastial
M-45	Verde claro	Masiva, nodular.	Aspecto deleznable, con la existencia de nódulos más duros rodeados de material más blando. Presentan zonas muy suaves al tacto coincidiendo con los nódulos.	Masa explotada.

TABLA 36 (continuación)

Muestra	Color	Caracteres Estructurales	Caracteres Texturales	Situación de la muestra en el yacimiento
M-49	Verde claro	Masiva	<p>Compacta, cristalina con tamaño de grano microscópico. La serpentina se encuentra en un grado avanzado de alteración a talco. Toda la roca está cubierta de una pátina de alteración superficial que le da un color pardo amarillento y una gran suavidad. A pequeña escala se pueden observar espejos de falla típicos del contacto. Aparecen pequeñas fracturillas secundarias que atraviesan la muestra.</p>	Masa explotada
M-50	Verde claro	Masiva, con nódulos.	<p>Bastante compacta, aunque hay zonas más alteradas que dan un aspecto más deleznable. Está cubierta de pátina de alteración con existencia de menas metálicas alteradas. El talco aparece en venillas que atraviesan la masa serpentínica.</p>	Contacto con el hastial

TABLA 36 (continuación)

Muestra	Color	Caracteres		Situación de la muestra en el yacimiento
		Estructurales	Texturales	
M-46	Verde oscuro	Masiva	Compacta cristalina, con tamaño de grano microscópico. Aparece atravesada por venillas rellenas de minerales más claros. Con gran dureza y una fuerte pátina de alteración superficial que le da en ciertas zonas tonos pardos y rojos.	Hastial
M-48	Verde muy oscuro	Masiva	Compacta cristalina, con tamaño de grano de medio a grueso. Con textura típica en forma de piel de serpiente. Hay multitud de venillas muy negras que engloban a minerales de mayor tamaño verde claro, posibles restos de ferromagnesianos. Con pátina de alteración superficial.	Contacto con el hastial.

b) Resultados experimentales y discusión

En la tabla 37 se recogen los resultados del análisis mineralógico por difracción de Rayos-X. Como puede observarse los minerales presentes en el yacimiento son: talco, clorita y serpentina.

La distribución mineralógica se muestra en la figura 49 construída de igual forma que en los anteriores yacimientos. Se puede deducir de ella que ambos hastiales están constituidos por serpentina. La aparición de talco y clorita guarda una relación simétrica, concentrándose en el centro del filón.

El término de clorita correspondiente a la variedad talco-clorita se ha determinado, como ya se ha expuesto y se ha calculado la fórmula para la muestra M-45.

Por las reflexiones obtenidas en los difractogramas de Rayos-X y los estudios ópticos realizados en muestras de este yacimiento llegamos a la determinación del tipo de serpentina, que se trata de la variedad antigorita.

Como en los demás yacimientos, para comprobar los resultados del análisis cuantitativo por difracción de Rayos-X se ha cuantificado también la mineralogía a partir de los datos obtenidos del estudio termoponderal sobre la muestra M-45 constituida por talco y clorita fundamentalmente.

En la figura 50 se presenta el diagrama del análisis termogravimétrico de la muestra M-45 en la que se observan dos efectos de pérdida de peso principales. Hasta los 250° C aproximadamente, se observa una pérdida de peso del 1,2 % correspondiente a la pérdida del agua. El primer escalón ocurre entre los 500°

ANALISIS MINERALOGICO CUANTITATIVO POR DIFRACCION DE RAYOS-X

YACIMIENTO MAJESTUOSA

Muestra	Talco	Clorita	Serpentina
M-47	5	25	70
M-51	50	Indicios	50
M-45	60	40	-
M-49	60	40	Indicios
M-50	55	25	20
M-46	Indicios	25	75
M-48	5	-	95

TABLA 37

COMPOSICION MINERALOGICA

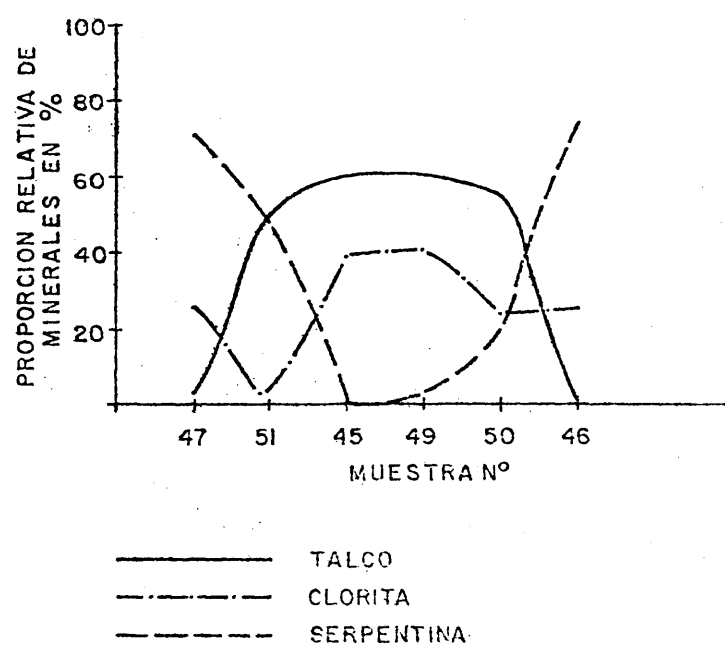


Fig. 49.

TG M-45

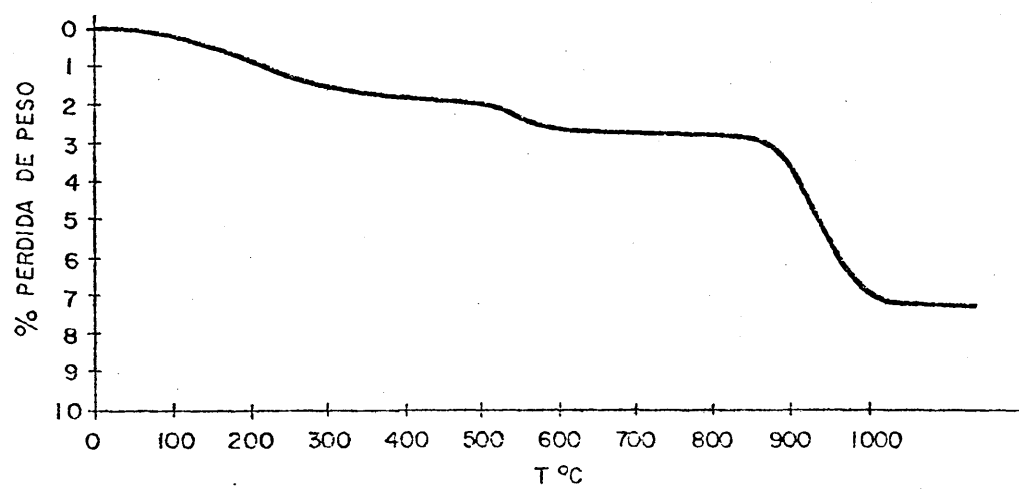


Fig. 80.

y los 800°C correspondiendo a la pérdida de peso del 2,92% de la clorita. Entre los 850°C y 1100°C el talco experimenta una deshidroxilación con una pérdida de peso del 7,07%.

A partir de estas pérdidas se ha calculado los porcentajes de talco y clorita presentes en la muestra, que están recogidos en la tabla 10, y como puede apreciarse los resultados obtenidos por difracción de Rayos-X y por termogravimetría concuerdan considerablemente.

En las figuras 51 y 52 se muestran los diagramas de infrarrojos, correspondientes a la muestra M-45 seleccionada para este yacimiento. Se han podido observar (Fig. 51) sustituciones de Mg en la capa octaédrica por cationes pesados (regiones comprendidas entre 3.675, 3.666, 3.659 cm^{-1}) correspondientes a 3Mg^{++} , $1\text{Mg}^{++} + \text{M}^{++}$, $2\text{Mg}^{++} + \text{M}^{++}$. M es Fe^{2+} y Ni en menor cantidad.

En la Fig. 52, se representa el espectro completo observándose, como en anteriores espectros, las bandas a 1016 cm^{-1} de la vibración de tensión Si-O a 670 cm^{-1} y por último entre 600 y 350 cm^{-1} , vibraciones correspondientes a las bandas de una capa trioctaédrica.

Del estudio óptico por microscopía de luz transmitida se ha observado que el talco aparece en formas diversas, dependiendo de su situación geográfica en el yacimiento. En las zonas centrales aparece masivo, asociado a clorita, con restos de piroxenos rómbicos y espículas férricas, así como óxidos de hierro. Las preparaciones de los hastiales nos muestran el tipo de serpentina, variedad antigorita, y en éstas el talco aparece rellenando pequeñas fisuras que atraviesan la preparación rodeando a bloques de antigorita. También se ha observado en todas las preparaciones del yacimiento fisurillas rellenas de óxidos de hierro, que determinadas al

ESPECTROS DE INFRARROJOS

MUESTRA N° 45

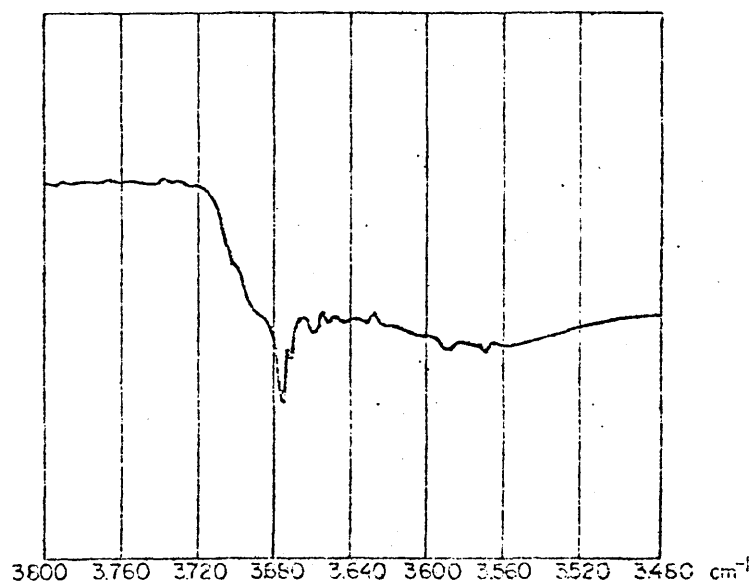
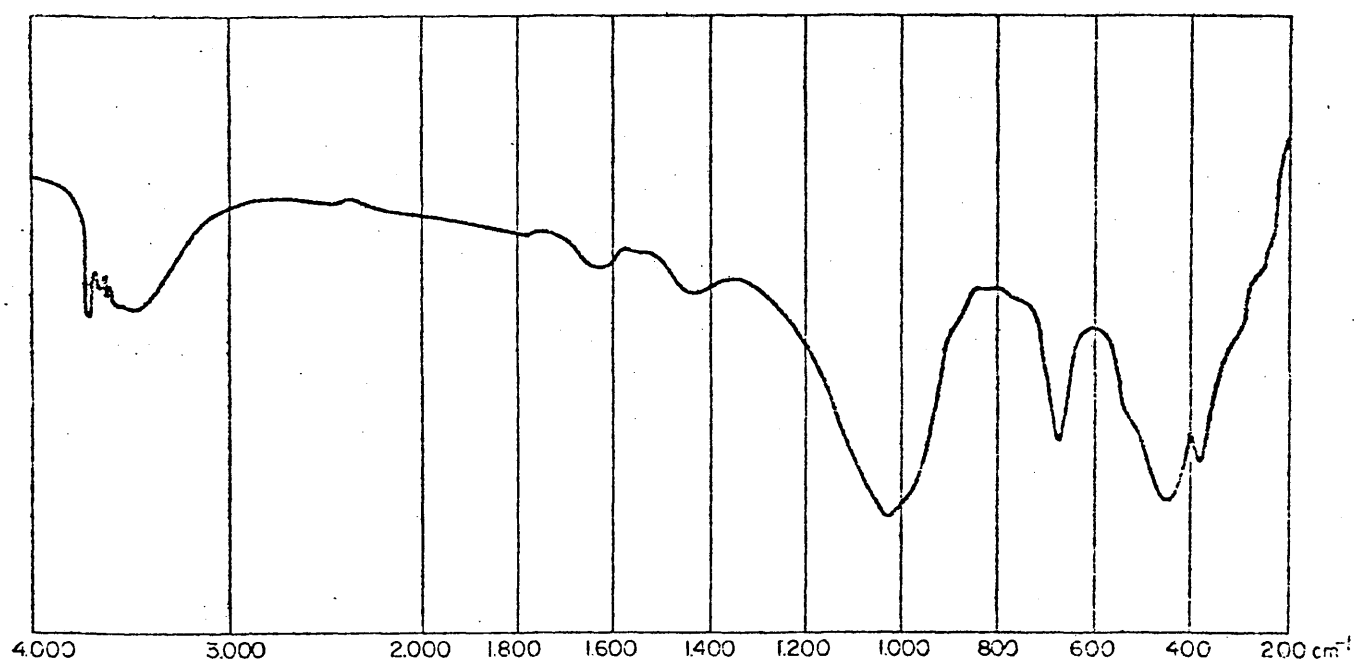


Fig. 51 y 52.

microscopio de luz reflejada resultaron ser de magnetita.

En la tabla 38 se presentan los resultados obtenidos por el análisis químico realizado por fluorescencia de rayos-X.

La distribución espacial de los elementos perpendicularmente al yacimiento sigue una pauta similar a la distribución mineralógica ya comentada (Fig. 53).

La relación SiO_2/MgO aumenta en la zona central lo que nos indica un proceso de silicificación relativo.

La distribución del Al_2O_3 es más o menos uniforme exceptuando el mínimo que presenta la muestra M-51 que además es la muestra más pobre en clorita. La distribución del Fe_2O_3 es bastante irregular a lo largo del yacimiento, sin embargo el NiO parece experimentar aumentos en los hastiales, quizás relacionado con la presencia de serpentina.

ANÁLISIS QUÍMICO POR FLUORESCENCIA DE RAYOS-X

YACIMIENTO MAJESTUOSA

Muestra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	NiO	CuO
M-47	42,1	8	6,0	1	42	0,37	0,04
M-51	52,3	tr.	5,2	-	38	0,26	0,083
M-45	52,4	10	2,6	tr.	33	0,20	0,01
M-49	50,4	10	3,4	tr.	33	0,29	0,02
M-50	48,6	7	2,4	1	42	0,24	0,04
M-46	41,2	8	5,9	1	41	0,30	0,18
M-48	43,8	3	5,3	1	42	0,29	0,17

TABLA 38

ANALISIS QUIMICO

YACIMIENTO MAJESTUOSA

M-45

SiO ₂	49,46
Al ₂ O ₃	5,12
Fe ₂ O ₃	3,58
MgO	25,96
CaO	3,08
K ₂ O	0,02
Na ₂ O	0,39
H ₂ O ₁₁₀ ^o	4,25
H ₂ O ₁₀₀₀ ^o	7,88
Suma total	99,64

TABLA 39

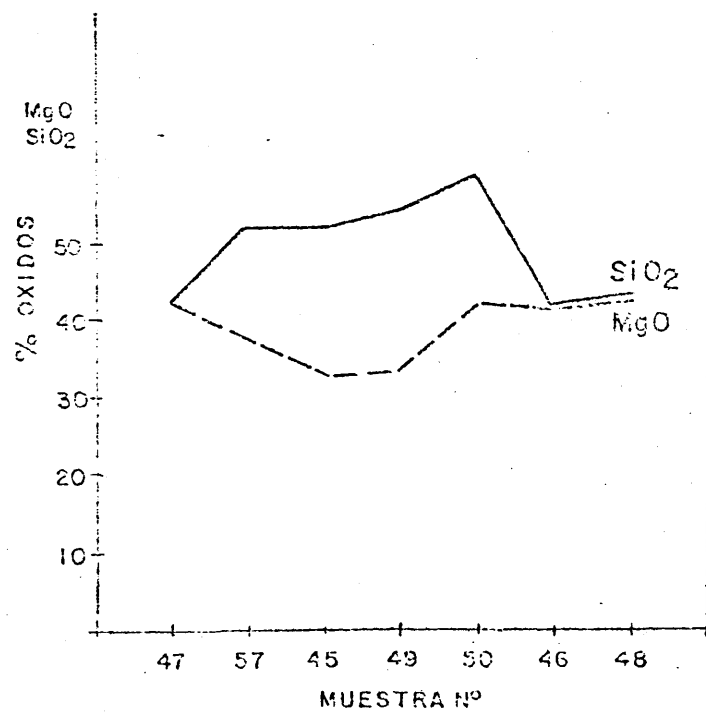
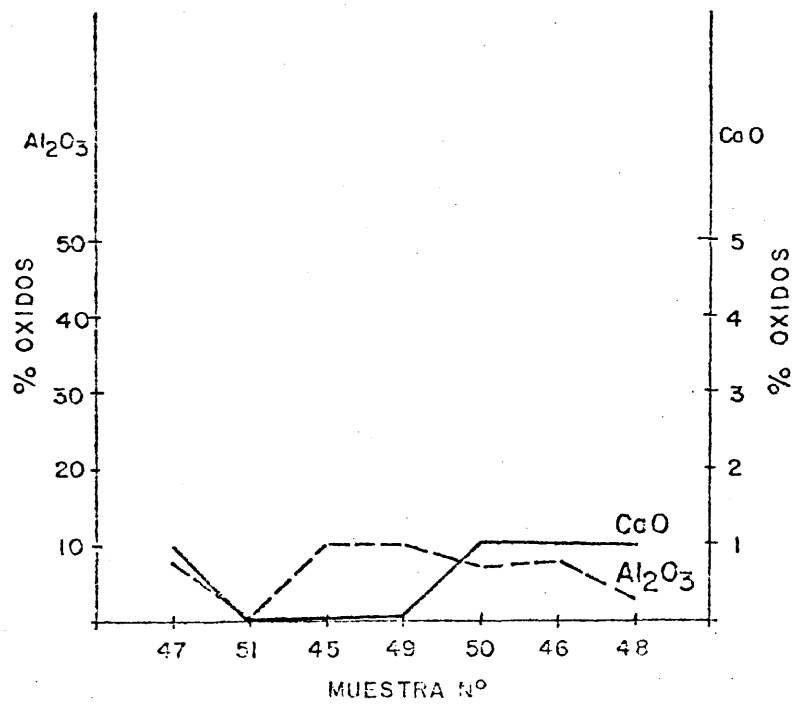
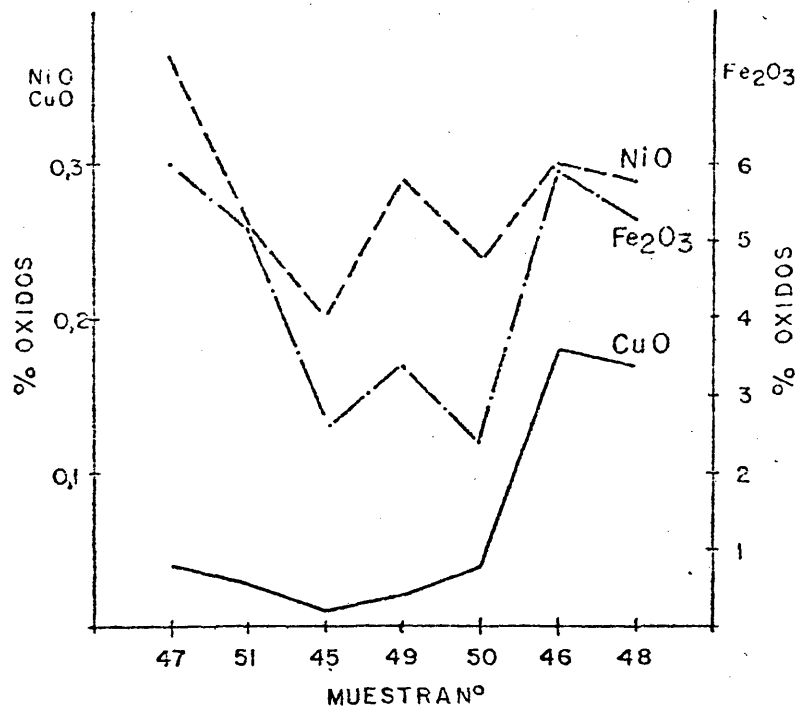


Fig. 53.

B. - Yacimientos asociados a fracturas en contacto con mármoles

5.2.3. Yacimiento Km. 5,2 DE LA CARRETERA A BENAHAVIS

a) Descripción y materiales estudiados

El yacimiento se encuentra localizado en el Km. 5,2 de la carretera que va de San Pedro de Alcántara a Benahavis. Está emplazado en el cuadrante SW de la Hoja 1065 del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000 (Marbella), teniendo por coordenadas medias: Longitud $5^{\circ} 2' 7,8''$ y Latitud $36^{\circ} 30' 27,6''$.

La mineralización se encuentra a lo largo de una fractura de dirección $N 100^{\circ} E$, que pone en contacto la roca serpentizada con formaciones marmóreas (Fig. 54).

El talco se encuentra a lo largo de pequeñas fracturillas que atraviesan la masa serpentínica formando, en algunos casos, una auténtica mezcla. La alteración meteórica sufrida, así como los derrumbes, hace difícil la observación del contacto.

Este yacimiento no ha sido explotado anteriormente, ni tampoco se encuentra descrito ni denunciado. Se ha creído conveniente su estudio, porque, aunque económicamente carece de importancia, es interesante la forma de presentarse que tiene el talco, asociado a fracturas, que ponen en contacto las serpentinas con una potente formación de mármoles, caso poco frecuente en la Serranía de Ronda, donde como se ha visto suele presentarse asociado a gneises o en medio de la masa peridotítica serpentizada.

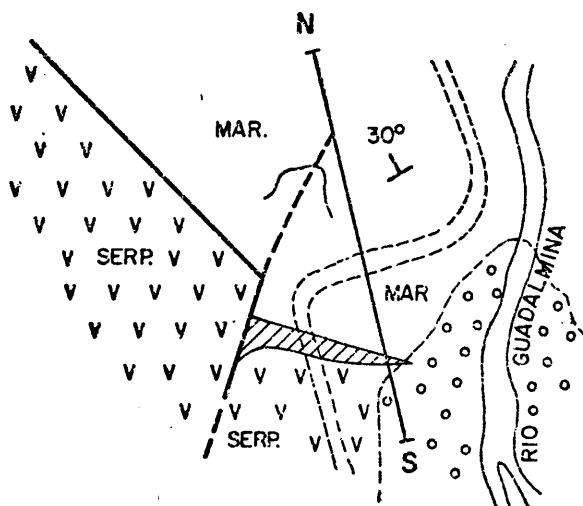


Mineralizaciones de talco en contacto con mármoles. En el Km. 5,2 de la carretera de Benahavis.

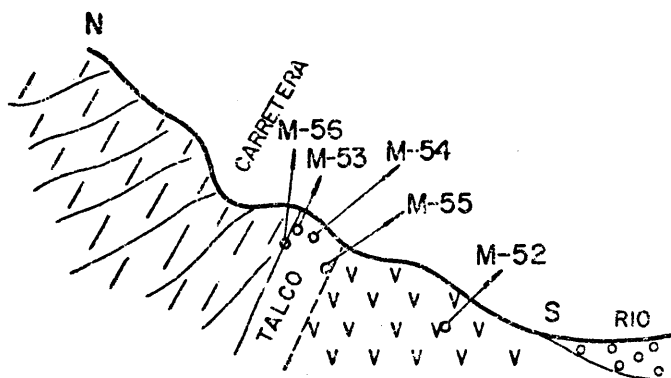
Fig. 54.

YACIMIENTO Km. 5,2

PLANTA



CORTE



0 2m.

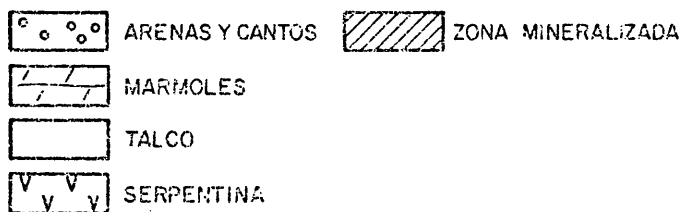


Fig. 54.

YACIMIENTO Km. 5,2 CARRETERA A BENAHAUIS

Muestra	Color	Caracteres		Situación de la muestra en el yacimiento
		Estructurales	Caracteres Texturales	
M-52	Verde muy oscura	Masiva	Compacta cristalina, con tamaño de grano variable. Con una pequeña pátina de alteración superficial.	Hastial
M-55	Verde clara	Masiva	Material deleznable de dureza media con zonas separables en capas que presentan gran alteración superficial.	Masa explotada
M-54	Verde clara	Masiva	Material deleznable de dureza media. El talco se encuentra en pequeñas venas que atraviesan la serpentina. También aparecen nodulos de serpentina muy transformados.	Masa explotada

TABLA 40 (continuación)

Muestra	Color	Caracteres Estructurales	Caracteres Texturales	Situación de la muestra en el yacimiento
M-53	Verde clara	Masiva	Deleznable, dureza media. A simple vista se observan restos de serpentina con multitud de pequeñas venas que la atraviesan. También se pueden ver restos de minerales micáceos. Posible existencia de carbonatos.	Masa explotada, cerca del hastial. Forma el hastial de la zona talquizada.
M-56	Gris oscuro	Masiva, con una ligera estratificación en bancos.	Compacta criptocristalina.	Zona de fractura, contacto entre carbonatos y serpentina talquizada.
M-57	Blanco grisáceo	Masiva	Compacta con tamaño de grano de medio a grueso. Con grandes cristales de hasta 3 mm. de diámetro muy angulosos que están englobados en una matriz calcárea.	Zona fuera del yacimiento. Tomada cerca del contacto de los materiales serpentínicos con los materiales carbonáticos.

b) Resultados experimentales y discusión.

En la tabla 41 se recogen los resultados obtenidos del análisis mineralógico por difracción de Rayos-X. En ella puede observarse que los minerales fundamentales que componen el yacimiento son: talco, clorita, serpentina, calcita y dolomita, con la aparición puntual de tremolita y plagioclasa en las muestras M-57 y M-56 respectivamente.

La distribución mineralógica a lo largo del yacimiento se presenta en la figura 55 construída de igual forma que en los anteriores yacimientos. De ella podemos observar que los minerales no siguen una aparición simétrica, cosa completamente lógica - dado el grado alto de fracturación que afecta a la zona. Al poner en contacto la serpentina con el talco mediante un contacto mecánico, los materiales a ambos lados del filón aparecen entremezclados, sólo pudiendo observarse que allí donde aparece el talco en mayor abundancia, la clorita está también presente en mayor proporción y los carbonatos y la serpentina aparecen completamente mezclados.

El tipo de clorita corresponde al término talco-clorita, determinado como en anteriores yacimientos.

El tipo de serpentina, determinado mediante difracción de Rayos-X y estudios ópticos, corresponde a la variedad antigorita.

Se ha seleccionado la muestra M-54 para el análisis por espectroscopía de infrarrojos. El espectro de esta muestra nos ha indicado que no existían sustituciones de Mg en la capa octaédrica. A 3.560 y 3.440 cm^{-1} aparecen bandas típicas correspondientes a la clorita. La banda de la región 1.020 cm^{-1} es propia de una vibración de tensión Si-O y la de 670 cm^{-1} correspondería a una vi-

ANALISIS MINERALOGICO CUANTITATIVO POR DIFRACCION DE RAYOS-X

YACIMIENTO Km. 5,2 CARRETERA A BENAHAVIS

Muestra	Talco	Clorita	Serpentina	Calcita	Tremolita	Dolomita	Plagioclasas
M-52	5	-	95	-	-	-	-
M-55	5	-	35	60	-	-	-
M-54	15	50	15	20	-	-	-
M-53	5	-	20	75	-	-	-
M-56	Indicios	Indicios	-	-	-	75	25
M-57	Indicios	5	-	45	10	40	-

TABLA 41

COMPOSICION MINERALOGICA

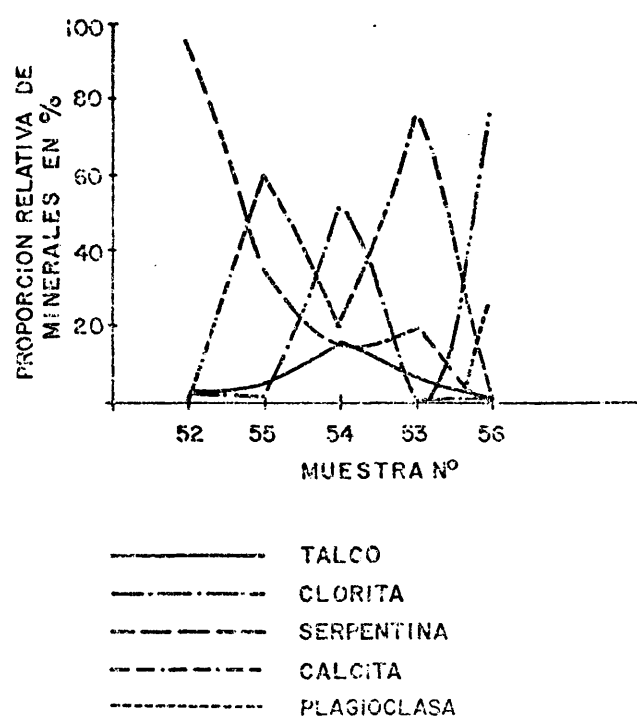


Fig. 55.

bración de deformación Mg-OH. Las bandas entre 600 y 350 cm^{-1} son vibraciones típicas de una capa trioctaédrica.

Por el estudio óptico se ha observado la estructura mallada típica de la variedad antigorita, con restos de piroxenos rómicos y menas metálicas de óxidos de hierro.

En aquellas muestras en las que aparecía el contacto de la serpentina, (con talquización incipiente), con los carbonatos, se observaron buenos cristales de éstos.

Los pequeños granos esporádicos de minerales metálicos que aparecen diseminados en la serpentina son de cromita.

Al microscopio electrónico se ha podido observar en la muestra M-54 el aspecto micáceo del talco (Fig. 56).

En la tabla 42 y Fig. 57 se presentan los resultados del análisis químico realizado por fluorescencia de Rayos-X. El análisis químico de la muestra M-54, se ha realizado por la vía húmeda

La distribución de los elementos a lo largo del yacimiento sigue la misma simetría e irregularidad que la distribución mineralógica, ya comentada.



Fig. 56

ANALISIS QUIMICO POR FLUORESCENCIA DE RAYOS-X

YACIMIENTO Km. 5, 2 CARRETERA A BENAHAVIS

Muestra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	NiO	CuO
M-52	46,8	2	4,7	tr.	42	0,26	0,05
M-55	15,6	6	3,2	34	18	0,11	0,00
M-54	41,4	6	4,0	14	32	0,14	0,10
M-53	4,6	4	2,6	42	8	0,11	0,02
M-56	tr.	6	0,1	27	21	0,002	0,17
M-57	7,7	12	0,6	39	17	0,003	0,10

TABLA 42

ANALISIS QUIMICO

YACIMIENTO Km. 5,2 CARRETERA A BENAHAVIS

M-54

SiO ₂	42,60
Al ₂ O ₃	5,12
Fe ₂ O ₃	7,07
MgO	27,98
CaO	3,43
K ₂ O	0,08
Na ₂ O	0,22
H ₂ O _{110°}	2,38
H ₂ O _{1000°}	12,70
Suma total	99,70

TABLA 43

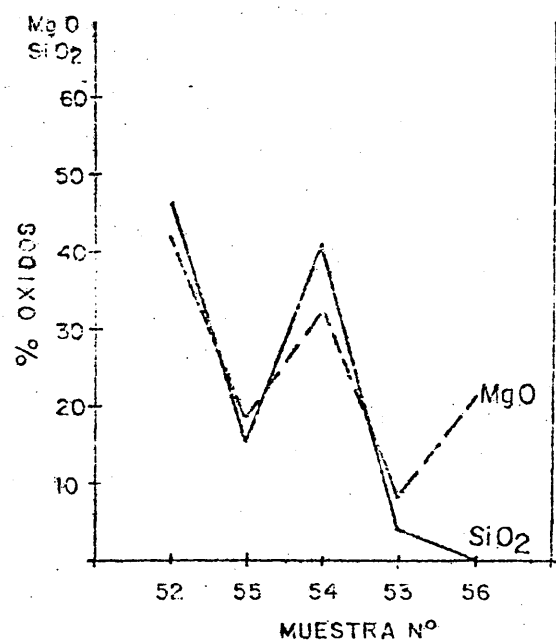
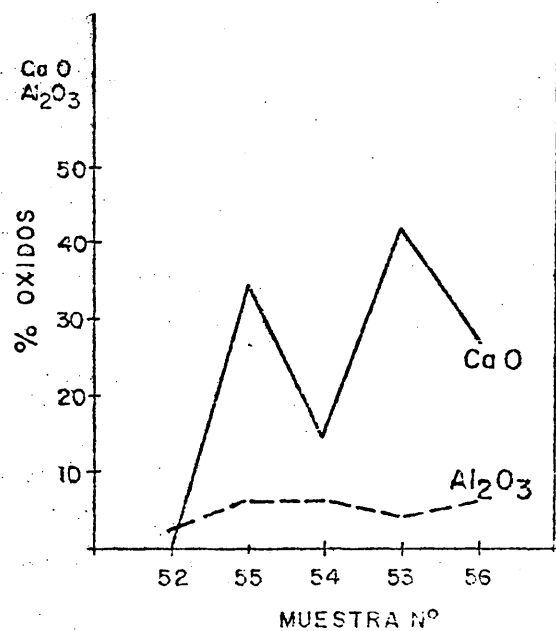
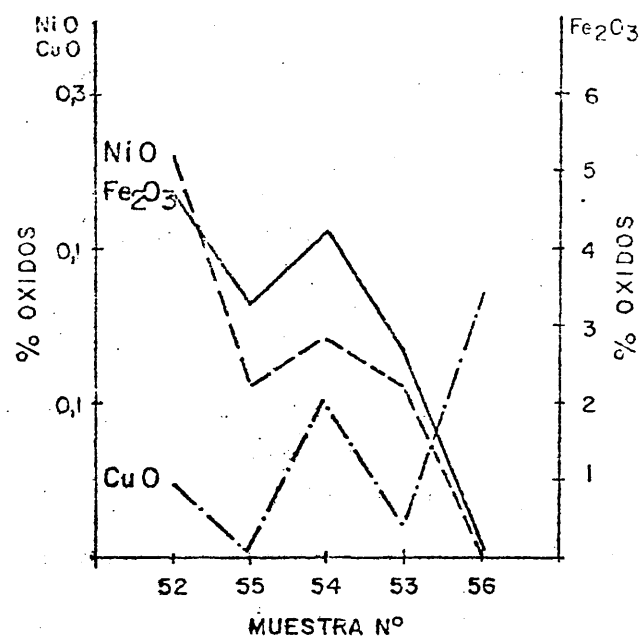


Fig. 27.

VI. DISCUSION DE LOS RESULTADOS

Los depósitos de talco de la Serranía de Ronda se encuentran asociados intimamente a las intrusiones ultrabásicas serpentinizadas, tanto en el caso de aparecer en plena masa plutónica como si se presentan en los contactos con las rocas ensajantes. De los diferentes macizos peridotíticos que forman el conjunto ultrabásico de la Serranía de Ronda, el talco está particularmente unido a las denominadas Sierra de Alpujata y Sierra Bermeja (macizos de Ronda y Ojen, respectivamente).

El talco siempre se concentra en zonas de fractura fuertemente milonitizadas, a modo de filones, mezclado con serpentina. Estas fracturas son variables en dirección, están rellenas con una potencia de talco entre 2 y 15 m. y una corrida que puede llegar hasta los 600 m. (o quizás superior). Existen además otros afloramientos de talco, que rellenan también fracturas de menor potencia y desarrollo y sin ningún interés económico. La orientación de los sistemas de fracturas observados no presenta una relación evidente con las estructuras regionales de la masa serpentínica deducidas a partir del "Layering". (AGUILAR y otros (1973), y observaciones propias).

La roca de caja de los diques talquíferos puede ser sólo la serpentina, o bien la serpentina y los gneises y pizarras o la serpentina y los mármoles.

Hay que hacer notar, que precisamente en el macizo de Ojen, la serpentización ha sido más intensa que en otros afloramientos ultrabásicos, y que hay también un mayor desarrollo de las redes filonianas postintrusivas de carácter ácido y de textura aplítica y pegmática.

Con frecuencia, en los contactos talco-ser

Pentina, la estructura de estos minerales es fibrosa y aparecen además carbonatos, anfíboles y cuarzo. La clorita tipo talco-clorita, o sea, muy rica en magnesio y con cierta sustitución tetraédrica de Si por Al, está siempre presente en todas las mineralizaciones estudiadas.

DELGADO (1953) y HERNANDEZ PACHECO (1967) describieron las serpentinas del macizo de Ojen, compuestas esencialmente por antigorita, con menores proporciones de crisotilo y de otras especies serpentínicas no fibrosas difícilmente identificables. En las serpentinas de los diferentes talcos estudiados, sólo se ha reconocido claramente la presencia de antigorita. Con textura fibrosa se presenta la antigorita, a veces el talco y además la tremolita. Los cristales fibrosos de antigorita miden de 0,24 a 3,1 μ de longitud.

Los anfíboles identificados en estos depósitos han sido siempre de la serie tremolita-actinolita, próximas a la tremolita y no a la antofilita, como se ha citado en asociación con estos talcos.

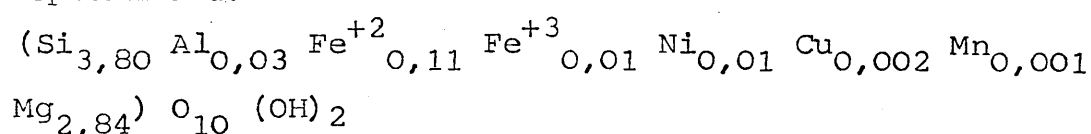
La serpentina se encuentra siempre muy alterada a talco, especialmente en los trozos encontrados en el seno de la masa de esteatita. Estos bloques, al ser cortados, muestran la sucesiva alteración de serpentina a clorita y a talco.

De hecho, en la serpentina (también en el talco), se pueden reconocer piroxenos rómbicos, espinelas, magnetita, cronita, hematites, pirita y, a veces, anfíboles y carbonatos.

Desde el punto de vista mineralógico, la esteatita que se ha explotado en estos depósitos está constituida por talco, en proporciones variables del 25% al 90% (normalmente entre el 40 y 60%), clorita y trozos disemina-

dos de serpentina alterada. En algunos casos, complementa esta composición la tremolita, cuyas propiedades y aspecto son parecidas a las del talco y como minerales secundarios y no siempre presentan están los carbonatos (calcita, dolomita y magnesita), cuarzo y las impurezas metálicas antes mencionadas que empeoran aún más la escasa calidad de la esteatita.

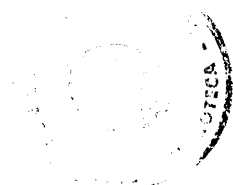
Los cristales de talco se presentan como láminas que oscilan de 2 a 5 μ . Su fórmula química se aproxima a:



Contienen en su capa octaédrica sustituciones de Mg por Fe^{++} y Ni fundamentalmente. La presencia de Ni y Fe está ligada a la serpentina y al talco, mientras que el Cr sólo está presente en la serpentina.

Cuando el talco arma en serpentina exclusivamente, existe una distribución simétrica de los minerales en el filón, concentrándose la mayor riqueza de talco en el centro, y hacia ambos lados o de modo progresivo aumentan las impurezas de clorita y serpentina, que llegan a ser máximas en los hastiales, donde además pueden aparecer cuarzo y tremolita. Si el talco está en contacto tectónico entre serpentina y pizarras, gneises o mármoles, no existe una simetría tan perfecta a ambos lados de la zona central talquizada y hacia los hastiales aparecen carbonatos y cuarzo (sobre todo en el lado de caja no serpentínico). También en este mismo caso puede aparecer tremolita.

La correlación mineralogía-quimismo es bastante clara. Normalmente en los casos de mayor simetría, hay un enriquecimiento relativo en sílice hacia el centro con respecto a los hastiales y una disminución paralela de magnesio. El aluminio va ligado a la presencia de clorita,



y suele presentar dos máximos a ambos lados del centro ocupado por el talco y a corta distancia de los contactos con la roca de caja. El hierro va asociado preferentemente con la serpentina (mineralizaciones de magnetita). El níquel se concentra también en la serpentina y en menores cantidades en el talco. No ocurre igual con el cobre que quizás pueda ir asociado al talco, a la clorita o incluso a ambos, pero los valores determinados no son muy significativos para definirlos con certeza. Por último, el calcio se concentra en los carbonatos y tremolita.

Con respecto a la mineralización, sólo se observa un aporte de sílice. Por el contrario las proporciones de hierro férrico, aluminio y níquel disminuyen; no se ha encontrado ley de variación para el cobre. En consecuencia, para la formación del talco de estos yacimientos ha sido necesaria una silicificación, y una movilización de magnesio, hierro férrico y aluminio y calcio.

VII. MINERALOGENESIS.

La formación de talco asociada a rocas ultrabásicas es un proceso de alteración de minerales magnésicos (primarios o secundarios) mediante un suave metamorfismo hidrotermal, ayudando quizás por un metamorfismo dinámico en algunos casos, pero no es un producto de alteración metateórica.

Se puede formar el talco a partir de cualquier piroxeno o anfíbol magnésico, olivino, epidota, o de los productos de alteración de estos minerales, clorita y serpentina mediante una acción acuosa ácida normalmente carbonatada.

El proceso de serpentización de las rocas ultrabásicas es anterior al de la talquización. Esto es obvio en los yacimientos de la Serranía de Ronda, porque la serpentina se encuentra claramente alterada a talco, este hecho es frecuente y ha sido descrito en otros yacimientos de talcos asociados a serpentinas, como por ejemplo en los depósitos situados en los cinturones de Piedmont y de los Apalaches (LARRABEE, 1966 y 1971 o en los Schuylley (Virginia) (HESS, 1933).

a) Serpentinización de las peridotitas:

La serpentización de las rocas peridotíticas parece debida a dos tipos de procesos. Una primera serpentinización se produjo por una acción de tipo autometamórfico, por debajo de los 500°C durante el enfriamiento de rocas ultramáficas y posteriormente ocurrió otra serpentinización superficial meteórica. (HERNANDEZ PACHECO, 1967; HOYOS y GONZALEZ FARFA, 1971; AGUILAR y otros 1973).

El proceso autometamórfico de serpentización es particularmente claro en las zonas del contacto intrúsico, donde, especialmente las rocas de tipo larzolitico, se han transformado casi exclusivamente a serpentina.

La serpentización meteórica ha afectado prácticamente a la totalidad de la masa peridotítica, incluso a las serpentinas anteriormente formadas. La potencia de esta alteración es variable siendo mayor cuando ha sido favorecida por fracturas profundas. En otros puntos no tectonizados, a partir de una determinada profundidad desde la superficie actual (5-20 m) aparece roca fresca. A consecuencia del proceso de meteorización, las rocas peridotíticas están siempre cubiertas por una costra de color pardo rojizo tanto más potente cuanto mayor es la proporción de olivino en la roca primitiva.

b) Proceso de talquización:

El talco se ha formado posteriormente a la serpentización de tipo autometamórfico y anterior a la de tipo meteórico. Por consiguiente, no aparece como producto de alteración supergénica de los minerales de la roca ultrabásica, si no en zonas localizadas de fracturas. El momento de la génesis del talco ha sido subsecuente a las deformaciones y fracturas mayores asociadas con la intrusión, en un estado tectónico casi estático. Estas fracturas han sido las vías de circulación de fluidos más ácidos que han alterado la serpentina a talco.

El proceso de talquización ha reemplazado a la serpentina por talco (a través de tremolita y/o clorita) y el mecanismo ha sido una reacción de metamorfismo hidrotermal entre la serpentina y un fluido acuoso con cierto contenido en sílice y en ciertos casos con CO_2 .

El enriquecimiento en SiO_2 respecto a la roca serpentínica es evidente en el balance geoquímico establecido en todos los yacimientos, si bien sólo en algunos casos este aporte de SiO_2 fué suficiente para llegarse a cristalizar como cuarzo.

Es común la presencia de clorita magnésica con cierta sustitución de Si por Al, luego en el sistema de reacción intervino el Al_2O_3 . Este aluminio proviene de las serpentinas. HERNANDEZ PACHECO (1967) calculó un contenido medio de 1,47% de Al_2O_3 en las serpentinas; HOYOS y GONZALEZ PARRA (1971) analizaron una serpentina con 3,71% de Al_2O_3 (como picotita fundamentalmente) y en las serpentinas estudiadas en este trabajo el contenido en Al_2O_3 varía entre el 2 y el 10% dependiendo del grado de pureza. Luego la fuente aluminica en el caso de los yacimientos con serpentinas es la propia roca peridotítica, y en los demás casos (roca de caja serpentina y gneises o mármol) con mayor motivo puede ser aportado por la roca encajante.

La presencia de carbonatos magnésicos (magnesita y dolomita) no es constante y está en relación con las disponibilidades de CO_2 . Parece que en los depósitos formados en los contactos serpentina-pizarra (gneises o mármoles) la concentración de CO_2 fué mayor y por tanto se formó mayor cantidad de carbonatos. La disponibilidad de calcio condiciona que se forma calcita además de dolomita y magnesita, o sólo la última.

La tremolita también está condicionada con la disponibilidad de Ca. Este calcio puede ir en forma de piroxeno tipo diópsido en la roca serpentínica y de hecho, los análisis químicos de serpentina contienen CaO suficiente (del orden del 1%).

Finalmente, el porcentaje de hierro ferroso las peridotitas es bastante pequeño y durante el proceso de serpentización en parte se oxida y da magnetita quedando el restante Fe^{2+} disponible para sustituir al Mg en los minerales secundarios que se formen: clorita, talco, tremolita.

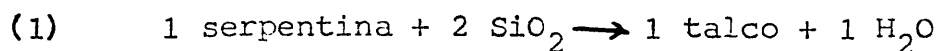
Por tanto, el sistema químico en que se ha dado la talquización poseía una gran riqueza en MgO y pequeñas cantidades de Al_2O_3 , CaO y FeO procedentes de las rocas serpentínicas, y en adición SiO_2 , agua y CO_2 en forma de solución hidrotermal. Si la roca encajante era más rica en carbonatos, Ca, Al, Fe, etc.... estos elementos habrán entrado en la formación de nuevos minerales o habrán formado mayores cantidades de las fases correspondientes.

El sistema básico de partida básica será MgO- SiO_2 - CO_2 - H_2O , el cual se le adicionan pequeñas cantidades de Al_2O_3 y FeO y en ciertos casos de CaO.

Las disponibilidades de CO_2 y de SiO_2 tampoco son siempre las mismas, de forma que en único elemento - siempre constante y abundante es el magnesio.

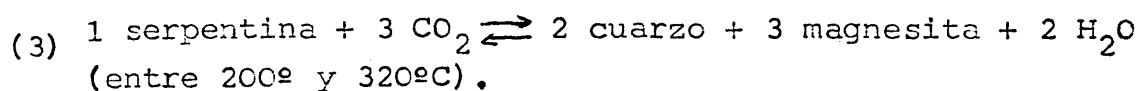
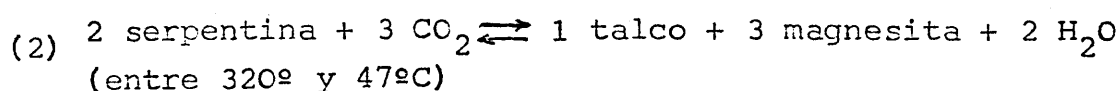
El sistema MgO- SiO_2 - H_2O fué revisado por TURNER (1968) a partir de estudios más antiguos, pero no tuvo en cuenta la presencia de CO_2 . Trabajos más modernos han investigado la influencia del CO_2 en el sistema, dando así un significado más general al diagrama de fases obtenido. Según GREENWOOD (1967) y JOHANNES (1969) (en WINKLER, 1974) los minerales que se pueden formar en el sistema MgO- SiO_2 - M_2O - CO_2 son: cuarzo, talco, antofilita, enstatita, forsterita, brucita, periclasa y magnesita. Dependiendo de la temperatura del material de partida y de la concentración de CO_2 la paragenesis es diferente.

Si se parte de serpentina como en el caso que nos ocupa, la reacción sería la siguiente:



Para que a partir de serpentina se produzca talco en estas condiciones la temperatura debe estar alrededor de los 350°C . Si la temperatura es más baja puede formarse además cuarzo.

Ante la presencia de CO_2 , la serpentina es muy inestable (JOHANNES, 1969), la existencia de serpentina en la roca talquizada demuestra que la fase fluida presente - durante la alteración contenía muy poco CO_2 , concretamente debe ser inferior a 10 moles por ciento, porque si es mayor se transforma a magnesita y cuarzo o a magnesita y talco, según las reacciones:



- Yacimientos asociados a serpentinas exclusivamente:

En estos yacimientos no se observa la formación de magnesita y otros carbonatos, luego el proceso fundamental fué en ausencia de CO_2 y de acuerdo con la ecuación (1).

Puesto que el cuarzo está ausente de algunos yacimientos (Pérez-Brian, Rafaela, Majestuosa, Costa del Sol), la temperatura de formación de este talco que arma sólo en la serpentina fué del orden de los 350°C y a presión ambiente.

La presencia de cuarzo libre indicará que la temperatura fué inferior, pero también en ausencia del CO_2 (Yacimientos Inesperada y María del Pilar).

La asociación mineralógica esencial de estos depósitos mencionados es:

Serpentina - talco - (cuarzo)

- Yacimientos asociados a mármoles, pizarras y gneises:

(zona de contacto de la intrusión),, las condiciones son semejantes pero con participación en el sistema de CO_2 .

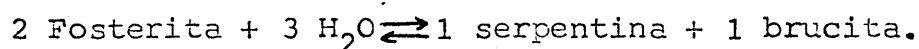
La formación de talco se produce según la ecuación (2). Hacia los hastiales la temperatura desciende y se produce la reacción (3) con el consiguiente depósito de cuarzo además de magnesita.

La asociación mineralógica básica para este tipo de yacimientos (Por fin, Marina, y Km. 5,2) es la siguiente:

Serpentina - talco - magnesita - (cuarzo).

Como se comentó al principio, el sistema es más complejo porque contienen Al_2O_3 , CaO y FeO . La adición del componente Al_2O_3 al sistema $MgO-SiO_2-H_2O-(CO_2)$ da lugar a la introducción en la paragenesis de clorita rica en Mg (talco-clorita).

Este hecho es general en todos los yacimientos estudiados. Su situación en los depósitos formados en el interior de la masa serpentínica es simétrica respecto al talco, ocupando una posición intermedia entre la mineralización y la serpentina. Para la formación de clorita es necesaria la aparición previa de brucita la cual pudo haberse formado durante el proceso de serpentización autometamórfico, de acuerdo con la reacción:



La brucita puede servir de núcleo de cristalización para la formación de clorita. (Téngase en cuenta que la proporción $MgO: SiO_2$ de una clorita es igual a la de la serpentina y si desaparece la capa brucítica, la relación es idéntica a la del talco).

El CaO da lugar dentro del sistema SiO_2-MgO a la aparición de tremolita o incluso diópsido, en función de la proporción en que entre a formar parte. Por consiguiente

te, en los yacimientos en los que en la masa peridotítica estaba presente el calcio en cantidad suficiente se ha formado tremolita durante la alteración hidrotermal (yacimientos Pérez-Brian, María del Pilar, Costa del Sol y Marina).

La génesis de calcita y dolomía está regulada por la presencia de CO_2 en el sistema y por el aporte de calcio a partir de las rocas encajantes de la intrusión serpentínica.

También la tremolita ocupa una posición simétrica a ambos lados del talco cuando éste se encuentra en el interior de la masa peridotítica. Esta consecuencia se puede explicar de forma similar a la dada para la clorita, en función de que el CaO también lo aporta la serpentina. LOPEZ AGUAYO y otros (1974) al estudiar el yacimiento "Costa del Sol" sugieren que la talquización se ha llevado a cabo en dos fases, una de tremolitización de la serpentina y otra de talquización de la tremolita, apoyándose en la distribución geométrica de los minerales y en los resultados de STEMPLE y BRINDLEY (1960) basadas en la reacción:



Nosotros creemos que la formación del talco no es debida a la talquización de la tremolita, sino que la formación de uno u otro mineral viene condicionada por la presencia de calcio y sílice, así donde hubo calcio suficiente se forma tremolita y donde prácticamente el calcio no existía se formó en talco y ésta última circunstancia se daba preferentemente en el centro de la fractura - que era la parte menos rica en serpentina y más silicificada y donde la tremolita ya no es estable por la pequeña concentración de Ca y el alto aporte de SiO_2 . La formación de tremolita y talco puede ser sucesiva o simultánea y la abundancia relativa de tremolita clorita y talco viene dado por la disponibilidad de CaO y Al_2O_3 y la circulación de SiO_2 y H_2O .

Finalmente, el FeO que no fué oxidado durante la serpentización pasó a formar parte, en la alteración de la serpentina, de las capas octaédricas de la tremolita, clorita y el talco sustituyendo al Mg.

En general la asociación mineralógica para estos yacimientos es:

serpentina - clorita - tremolita - talco - magnesita - cuarzo, donde la tremolita no está siempre presente (ausencia de CaO) y donde la magnesita sólo se encuentra cuando existe CO₂.

Las paragenesis establecidas en los distintos procesos mineralogénicos son:

- (1) { - serpentina - clorita - (tremolita)
- clorita - (tremolita) - talco - (cuarzo)

Para los yacimientos en el interior de la serpentina, (ausencia de CO₂), y

- (2) { - serpentina - clorita - (tremolita)
- clorita - (tremolita) - talco - magnesita - cuarzo -
- (calcita-dolomita).

Para los yacimientos en contacto con serpentina y otros materiales. (presencia de CO₂).

En conclusión: La formación de talco se debe a un proceso de alteración hidrotermal de la serpentina con aporte de sílice y agua.

Se pueden considerar metalotectos del talco a la propia serpentina (metalotecto litológico) y a las fracturas provocadas durante la intrusión y durante la consolidación de la masa plutónica y fases posteriores (metalotecto estructural).

Además, un metalotecto de tipo químico debe ser considerado para explicar la aparición de las distintas paragenesis mineralógicas y de su distribución geométrica en los filones de talco.

VIII. CONCLUSIONES

Del estudio geológico, mineralógico y químico de unos depósitos de talco situados en la Serranía de Ronda (MALAGA) se pueden deducir las siguientes conclusiones:

1º.- Los depósitos de talco de la Serranía de Ronda se encuentran asociados intimamente con las intrusiones ultrabásicas serpentinizadas, tanto si arman en el interior de la masa plutónica como si se presentan en los contactos con las rocas encajantes de las serpentinas.

2º.- De los diferentes macizos peridotíticos que forman el conjunto ultrabásico de la Serranía de Ronda, el talco se halla practicamente concentrado en el macizo de Ojen, ampliamente serpentinado.

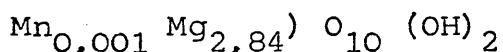
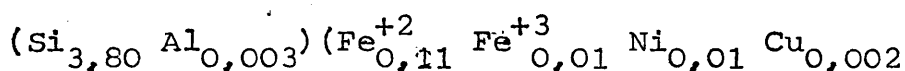
3º.- El talco aparece exclusivamente asociado a fracturas tanto si está en el interior de la masa plutónica como si aparece en el contacto con las rocas encajantes (gneises, pizarras, mármoles) o aparecen en la propia masa plutónica.

No se ha observado mineralizaciones preferentes a lo largo de ninguno de los sistemas de fallas determinados en los diferentes macizos.

El relleno de talco oscila entre 2 y 15 m. en los filones estudiados. La corrida puede llegar hasta los 600 m.

4º.- La masa de esteatita siempre se encuentra impurificada por clorita y serpentina. En ciertos casos pueden aparecer (no todos al mismo tiempo) magnesita, dolo-

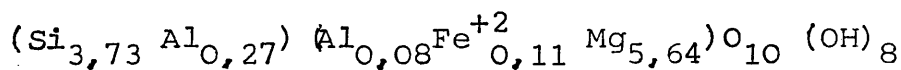
mita o calcita, tremolita y cuarzo. La riqueza de talco en los depósitos explotados oscila del 25 al 90%. En otros filones puede ser aún menor. El talco se concentra en la parte central del filón. Se orienta en forma laminar o fibrosa. Esta última textura se da cuando va asociado con tremolita o en los hastiales serpentínicos. El tamaño de las partículas laminares oscila entre 1,90 y 5 μ . La fórmula química más representativa:



El Mg^{2+} puede ser sustituido por Fe^{2+} y Ni, Mn, Cu en menor extensión pero no se han detectado otros cationes pesados tales como Co, Cr, Zn, etc.....

5º.- La serpentina talquizada es exclusivamente antigorita. Como minoritarios puede hallarse ortopiroxenos, dióxido, anfíboles, espinela, magnetita, hematites, goethita, pirita, cromita y carbonatos. El hábito de la serpentina en contacto con el talco es fibroso. Estas fibras son cortas con una longitud que oscila entre 0,24 y 2,1 μ . La serpentina mezclada con talco está muy alterada.

6º.- La clorita es una variedad muy rica en magnesio, talco-clorita, y presenta sustituciones en la capa tetraédrica de Si por Al (hasta 0,3) y de Mg por Fe^{2+} en la capa octaédrica (hasta 0,13). La fórmula es la siguiente:



La clorita se distribuye en los filones simétricamente a ambos lados del talco.

7º.- La distribución normal de minerales en los filones encajados en serpentina es:

Serpentina - clorita - talco - clorita- serpentina.

El paso de una fase a otra es continuo. En los hastiales predomina la serpentina alterada, a veces mezclada con tremolita y cuarzo.

Si el talco está en el contacto tectónico entre serpentina y gneises, pizarras o mármoles, no se conserva ésta casi perfecta simétrica respecto al talco, apareciendo clorita, serpentina, calcita, dolomita, cuarzo y tremolita de forma no simétrica.

8º.- La correlación mineralogía-quimismo es estrecha. En los casos de distribución simétrica de fases, hay un enriquecimiento relativo en SiO_2 hacia el centro con respecto a los hastiales y una disminución paralela del MgO . El Al_2O_3 va ligado a la presencia de clorita. El Fe_2O_3 y el NiO están especialmente asociados a la serpentina y sus menas metálicas. Por último, el CaO va unido a los carbonatos y a tremolita.

9º.- Respecto al balance geoquímico talco-roca de caja, se observa un aporte de sílice. La proporción de hierro férrico, aluminio y níquel disminuye; no se ha encontrado ley de variación para el cobre. En consecuencia, para la formación del talco de estos yacimientos ha sido necesaria una silicificación, y una movilización de Mg , Fe^{3+} , Ni , Al y Ca .

10º.- La génesis del talco se debe a un proceso de alteración hidrotermal (metamorfismo hidrotermal) de rocas serpentínicas (metalotecto litológico) por un fluido acuoso con sílice, y en ciertos casos con CO_2 que -

circula a través de fracturas originadas durante la intrusión, durante la consolidación plutónica y fases tectónicas posteriores (metalotecto estructural).

11º.- El proceso de talquización ocurrió posteriormente a la serpentización por fenómenos de autometamorfismo e hidratación de las rocas peridotíticas y como continuación del mismo, durante un momento tectónico - prácticamente estático, pero anterior a la serpentización meteórica que afectó a la mayor parte del macizo ultrabásico.

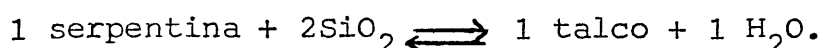
12º.- En el caso más general, el reemplazamiento de serpentina por talco se ha dado en un ambiente químico con gran riqueza de MgO y cantidades variables de Al_2O_3 , CaO y FeO, procedentes de las rocas encajantes (pequeños porcentajes proceden sólo de las peridotitas) y SiO_2 , agua y CO_2 en forma de solución hidrotermal.

13º.- El sistema de partida básico es $\text{MgO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O-CO}_2$ en el que hay que introducir pequeñas cantidades de Al_2O_3 y FeO y en ciertos casos CaO.

14º.- En los depósitos formados en la serpentina la asociación mineralógica es:

Serpentina - talco - (cuarzo)

Luego se verificó en un sistema $\text{MgO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$, con una concentración en CO_2 inferior a 10 moles, siguiéndose la reacción:

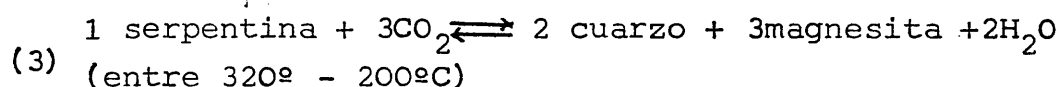
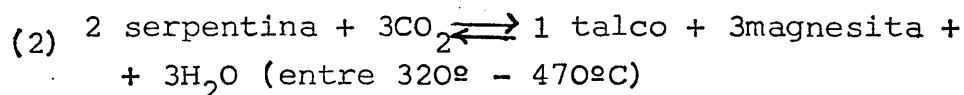


a una temperatura del orden de los 350°C (si no aparece cuarzo) o algo inferior (si cristaliza sílice como cuarzo), y a presión atmosférica.

15º.- En los yacimientos asociados a mármoles, pizarras y gneises en contacto con la intrusión ultrabásica las asociaciones mineralógicas es:

serpentina - talco - magnesita - (cuarzo)

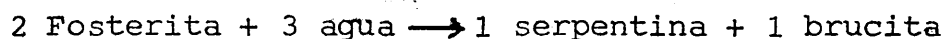
En estos casos interviene en el sistema el CO_2 , siguiéndose las reacciones:



A presión atmosférica.

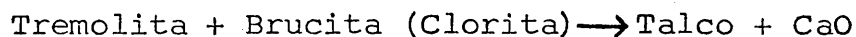
En el centro del filón se produce la reacción (2) originándose talco y hacia los hastiales la temperatura desciende con el consiguiente depósito de cuarzo y magnesita (reacción (3)).

16º.- La aparición de clorita es consecuencia de la introducción de Al_2O_3 en los sistemas anteriormente descritos y de la formación de brucita durante la serpentinización autometamórfica. Puesto que el aluminio procede de la propia serpentina, será mayor su concentración hacia los hastiales del filón y en los bloques alterados de serpentina, como una primera aureola de alteración. La brucita se genera al mismo tiempo que la serpentina según la reacción:



17º.- La aparición de tremolita se debe a la introducción del CaO en el sistema $\text{SiO}_2\text{-MgO-H}_2\text{O}$. La presencia de CaO en la serpentina alterada condiciona una tremolitización de la serpentina junto a la cloritización y hacia el centro, que es la zona más pobre en serpentina (Mg) y más rica en sílice se forma el talco.

La reacción:



es posible formándose calcita, si hay CO_2 , pero no es necesaria y si ocurre sólo se da en el tránsito:

clorita - tremolita talco

La sucesión de minerales parece pues:

<u>Mineral</u>	Relación molar $\frac{\text{MgO}}{\text{SiO}_2 + \text{MgO}} \times 100$
Serpentina	$\frac{6\text{MgO}}{4\text{SiO}_2 + 6\text{MgO}} = 60\%$
↓	
Clorita	$\frac{6\text{MgO}}{4(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3) + 6\text{MgO}} = 60\%$
↓	
Tremolita	$\frac{7(\text{MgO} + \text{CaO})}{8\text{SiO}_2 + 7(\text{MgO} + \text{CaO})} = 47\%$
↓	
Talco	$\frac{3\text{MgO}}{4\text{SiO}_2 + 3\text{MgO}} = 43\%$

18º.- La formación de calcita y dolomita está regulada por la presencia de CO_2 en el sistema de partida y por el aporte de Ca a partir de las rocas encajantes no serpentínicas.

19º.- El FeO que no fué oxidado a magnetita durante la serpentinización se incorporó a los minerales de alteración de la serpentina, en las capas octaédricas de la tremolita, clorita y talco sustituyendo al Mg.

20º.- Las paragenesis generales de los yacimientos de talco de la Serranía de Ronda son:

- { - serpentina - clorita - (tremolita)
- { - clorita - (tremolita) - talco - (cuarzo)

Para los yacimientos en el interior de la serpentina.
(ausencia de CO_2), y

- { - serpentina - clorita - (tremolita)
- { - clorita - (tremolita) - talco - magnesita - cuarzo - (calcita - dolomita).

Para los yacimientos en contacto con serpentina y otros materiales.

21º.- Desde el punto de vista económico estos yacimientos de talco presentan reservas que en su conjunto son interesantes, pero carecen de calidad. La serpentina y los minerales metálicos podrían separarse fácilmente, pero la abundante clorita sería muy difícil de separar del talco. Estas impurezas perjudican especialmente a sus propiedades cerámicas y de adherencias y en la blancura.

22º.- Para la prospección del talco en la Serranía de Ronda se deben buscar las áreas serpentinizadas por autometamorfismo, fuertemente tectonizadas y con frecuentes manifestaciones ácidas (aplititas, pegmatitas, filones de cuarzo, filones de vermiculita, etc. ...).

IX. APENDICE: EL TALCO

1. - Definición, estructura, composición química, propiedades físicas y mineralogía

El talco es un filosilicato trioctraédrico de tipo 2:1, de fórmula teórica $\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2\text{Mg}_3$ y composición química porcentual:

SiO_2 63,36

MgO 31,89

H_2O 4,75

La estructura laminar del talco está compuesta de dos capas de tetraedros de sílice que forman dos redes hexagonales de extensión indefinida, unidas entre sí mediante sus vértices libres a través de iones de magnesio. Dos hidroxilos completan la coordinación octaédrica de cada ión magnesio. Por consiguiente, las dos láminas de sílice se unen entre sí por una capa brucítica, formando una estructura tipo sandwich. El enlace es fundamentalmente iónico y las cargas están neutralizadas dentro de cada unidad. Entre dos unidades tipo 2:1, las fuerzas de unión son pequeñas y se producen apilamientos de secuencias, a veces de gran complejidad.

La estructura del talco fue sugerida por PAULING (1.930) y establecida por GRUNER (1.934) y HENDRICKS (1.938). Pero más recientemente fue revisada por BROWN (1.965) y por BAILEY (1.966) que demostraron que las estructuras no son tan regulares como parecían. El talco es una de las más simples estructuras de silicatos y por ello pueden estudiarse estas irregularidades con más facilidad ya que no hay que tener en cuenta las complicaciones que introducen los cationes interlaminares.

Los átomos de oxígeno de los tetraedros se desplazan ligeramente de las posiciones ideales para conseguir un mejor ajuste entre las capas tetraédricas y octaédricas. El aplanamiento de los oxígenos octaédricos paralelo a la capa conduce a una mayor separación de los cationes octaédricos.

HENDRICKS propuso una celdilla unidad monoclinica y grupo espacial $C2/c$ o Cc . Pero los estudios de RAYNER y BROWN (1.973) revisando las fotografías publicadas por HENDRICKS en 1.940, dedujeron que al menos uno de los talcos era triclínico, si bien por este desplazamiento de los oxígenos, antes aludido, la muestra parecía más simétrica. Por otra parte, ROSS, SMITH y ASHTON(1968) han estudiado 14 cristales de talco y todos ellos eran triclínicos.

La celdilla unidad del talco es pues triclínica, con grupo espacial $C\bar{1}$ y cuyas constantes son:

$$\begin{array}{ll} a = 5,293 \text{ \AA} & \alpha = 90,57^\circ \\ b = 9,179 \text{ \AA} & \beta = 98,91^\circ \\ c = 9,496 \text{ \AA} & \gamma = 90,03^\circ \end{array}$$

La estructura es casi de simetría monoclinica pero los anillos prácticamente hexagonales de átomos de oxígenos de la superficie de las capas, formados por las bases de los tetraedros de sílice, no están mantenidos por iones interlaminares como en las micas, sino que están parcialmente desplazados de forma que el api-lamiento de láminas forma un cristal triclínico. Los hexágonos de oxígenos están distorsionados por un giro de $3-4^\circ$ de los tetraedros, de forma que el eje b es 0,2 % más corto que en una estructura con hexágonos regulares, y el giro hace que los iones oxígenos estén un poco más cerca de los iones magnesios.

En general, rara vez se analiza un talco que

responda a la fórmula química estequiométrica dada al principio, porque son frecuentes las sustituciones de Si por Al en la capa tetraédrica (hasta un 2-4 % de Al_2O_3), los de Mg por Fe (2 %) o menos frecuente por otros cationes pesados como Cr, Co, Ni, Zn, Mn, etc. El F puede a veces sustituir en pequeña extensión a los OH^- .

El talco es un mineral de tacto suave, blanco (dureza 1), hojoso o compacto, blanco, gris, verde pardo o rosáceo. En lámina delgada aparece como poco coloreado, gris o verde claro, biáxico negativo, $2V_\alpha = 3-8^\circ$, pero normalmente $6-7^\circ$. La dispersión de los ejes ópticos es $r > v$. Los índices de refracción son $x = 1.538 \pm 0.002$, $y, z = 1.588 \pm 0.002$ y alta birrefringencia. En general las propiedades ópticas se afectan fácilmente por las sustituciones isomórficas. La densidad es de 2,58 pero aumenta con la sustitución de Mg por cationes pesados, pudiendo llegar hasta 2,83.

El material industrial definido como talco o esteatita, es normalmente una roca compuesta fundamentalmente por el mineral talco antes definido y otros silicatos ricos en magnesio. El talco considerado como mineral industrial puede variar su composición desde talco en sentido estricto, o sea talco puro, hasta tremolita. Los talcos comerciales suelen llevar las impurezas que los talcos presentan en la naturaleza y que son predominantemente serpentina, clorita, tremolita, antofilita y diópsido, y en menores cantidades, cuarzo, calcita, dolomita y magnesita.

2. - Geología y génesis del talco

Los depósitos de talco y esteatita de interés comercial aparecen asociados a tres tipos de rocas:

- dolomías afectadas por metamorfismo regional
- rocas ígneas ultramáficas alteradas
- dolomías afectadas por metamorfismo de contacto.

En el primer caso, las dolomías asociadas con sedimentos silíceos pueden ser metamorfizadas y formas talco. Pero también el talco se forma como una fase final de retroceso de tipo hidrotermal a partir de silicatos magnésicos, tales como tremolita, forsterita y diópsido, que habían sido formados por metamorfismo de alto grado, con la adición de sílice y agua (en cantidad limitada). La alteración hidrotermal de estos minerales por retrometamorfismo origina talco, serpentina y clorita con calcita y CO_2 como subproductos, con una considerable disminución de volúmen. Los más importantes yacimientos del mundo son de este tipo.

Los depósitos de talco asociados con rocas ultramáficas serpentinizadas aparecen en regiones metamorfizadas, con rocas sedimentarias fuertemente plegadas y, en ocasiones, con manifestaciones volcánicas. Los depósitos aparecen sobre las serpentinas, reemplazándolas. Algunos depósitos están ligados a intrusiones pegmatíticas en la serpentina. La formación de la esteatita (esteatitización) se produce o bien por metasomatismo de CO_2 sobre la serpentina o por reacción metamórfica entre la serpentinita y la roca silícea de caja. Estos dos procesos que son independientes pueden darse juntos. Generalmente los depósitos formados fundamentalmente por metasomatismo de CO_2 tienen abundancia de carbonatos, mientras que donde la reacción de metamorfismo regional fué más importante abunda más el talco.

El talco asociado a rocas serpentínicas aparece generalmente como rocas lenticulares a lo largo de fracturas y en zonas de cizallamiento. Esta fracturación es la que ha permitido la circulación de las soluciones acuosas y la alteración.

Normalmente, serpentina y talco se forman por la alteración de una roca ultrabásica y en la mayor parte de los depósitos el talco reemplaza a la serpentina. La serpentina suele formar-

se por alteración automórfica de la roca ultrabásica (o sea por acción de soluciones que provienen de la propia roca). El talco es subsecuente y puede no tener relación con el proceso de serpentinización, sino atribuible a un metamorfismo regional posterior o a soluciones hidrotermales derivadas de rocas graníticas profundas o de otro origen.

Plutones graníticos y diques de diabasa que integran sedimentos dolomíticos pueden mediante aporte de calor y de soluciones dar lugar a la esteatitización de rocas sedimentarias, y en algunos lugares incluso, el propio granito se puede reemplazar por el talco.

3. - Principales yacimientos de talco en el mundo y producción

Estados Unidos es el principal productor de talco en el mundo. Sus yacimientos se localizan en Nueva York, California, Montana, Georgia, Texas, Alabama, Carolina del Norte, Massachusetts, Pennsylvania y Virginia. La producción fue en 1.970 de 850.000 Tm. Pero el consumo fue del orden del millón de Tm. Se calcula una demanda para el año 2.000 de 2,28 a 3,36 millones de Tm, ya que en los últimos 20 años se ha duplicado la producción.

Los principales productores de talco, excluyendo a Estados Unidos, son China (especialmente Manchuria), Francia, Italia, Austria, Noruega, Alemania Occidental y la India. Hay además otros 18 países productores que superan al menos las 2.000 Tm por año, entre ellos se incluyen Argentina, Australia, Brasil, Canadá, Egipto, España, Finlandia, Formosa, Grecia, Japón, Korea, Perú, Suecia, Sudáfrica, URSS, Uruguay y Yugoslavia.

En Estados Unidos, los yacimientos de Nueva York producen prácticamente el 50 % del total. El yacimiento de St. Lawrence County, el más grande del mundo está asociado a mármol.

les. Las zonas de talcos son unidades estratigráficas que han sido tectónicamente plegadas y metamorfizadas y en las que la fracturación de cizallamiento ha jugado un importante papel en el desarrollo de las zonas de talcoesquistos. Son depósitos del tipo primero, considerado en el apartado anterior.

La producción mundial de talco en 1.973 fue de 5,5 millones de Tm. Las reservas mundiales de talco han sido estimadas por el Bureau of Mines de Estados Unidos, en 1.972, en 360 millones de Tm, de los que 150 millones se encuentran en USA. Un estudio de CHIDESTER, ENGEL y WRIGHT (1.964) más minucioso da como recursos identificados (recursos seguros) un mínimo de 89 millones de Tm. para USA.

4. - Usos del talco

El talco es usado industrialmente cuando se desea un producto que tenga una combinación de las siguientes propiedades: blancura en polvo (natural o después de calentado), suavidad, finura de grano, partículas con forma laminar o fibrosa, inercia ante los agentes químicos, fuerte absorción de aceites, alto punto de fusión, baja capacidad de absorción y resistencia mecánica semejante a un material cerámico cuando se cuece, baja conductividad eléctrica y térmica, buena retención como carga y fácil molienda.

El talco se usa como material cerámico para losas, tejas y ladrillos especiales; como carga en plásticos, papel, caucho, materiales textiles, pinturas, portador y diluyente de insecticidas, en cosmética, medicamentos, en barnices, abrillantadores e incluso en alimentos como el arroz o el salami, para blanquear, en lápices, papeles especiales para pinturas, como lubricante, impermeabilizante en aisladores cerámicos de alta frecuencia, etc.

Las industrias que más volumen consumen de talco actualmente son la de cerámica para la fabricación de losetas y materiales refractarios y en pinturas y barnices. Ha aumentado también ultimamente el uso del talco para pelletización.

X. BIBLIOGRAFIA

- AGUILAR, M. J.; CRESPO, V.; REYES, J. L.; APARICIO, A.; FUSTER, J. M.; MUÑOZ, M. y SAGREDO, J. (1973) Investigación de níquel en los macizos ultrabásicos de Málaga. Nuevos datos sobre la geología y petrogenesis. Boll. Geol. y Min. Tomo LXXXIV, 84, 447-472.
- ALBEE, A. L. 1962. - Relationships between the mineral association, chemical composition and physical properties of chlorite series. Amer. Mineralogist. 47, 851-870.
- ALEIXANDRE, V. y ALVAREZ ESTRADA; D. (1949). - Estudio fisicoquímico de varios talcos españoles y de algunas masas cerámicas esteatíticas. Anat. Real. Soc. Esp. Fisic. y Quím. 45 serie B, 1075-1104.
- ALEIXANDRE, V. y SANCHEZ CONDE, C. (1970). - Curvas dilatométricas de talcos granulares y de talcos laminares. Boll. Soc. Esp. de Ceram. 9, 741-794.
- ALVAREZ ESTRADA, D. (1952). - Estudios sobre talcos españoles y sus aplicaciones en dielectricas para la alta frecuencia. Tesis Doctoral. Public. de la Fac. de Ciencias. Universidad de Madrid.
- ALVAREZ DE LINERA (1851). - (a). - Reseña geognostica y minera de la provincia de Málaga. Soc. Malagueña de Ciencias. Bol. Marzo-Septiembre, 161.
(1851) (b). - Descripción del criadero de Níquel de Carratraca. Málaga.
- AYLLON, M. (1974). - Análisis cuantitativo por difracción de Rayos X de algunos minerales accesorios de la arcilla,

según el método de standard interno. Tesis Doctoral. Facultad de Geológicas. Universidad Complutense de Madrid.

BAILEY, S.W. (1966). - The status of clay minerals structures-clay and clay minerals. 14, 1-23.

BAILEY, S.W. (1972). - Determination of chlorite compositions by X-Rays spacings and intensities. Clay and Clay Min. 20, 381, 388.

BASTA, E.Z. y ABDEL KADER, M. Sc. (1969). - The mineralogy of Egyptian serpentines and talc-carbonates. Mineralogy. Magaz. 37, nº 287, 395-408.

BLUMENTAL, M.M. (1949). - Estudio geológico de las cadenas costeras al W. de Málaga entre el río Guadalnoce y el río Verde. Bol. Inst. Geol. Min. Esp. 62, 11-189.

BRADLEY, W.F.; GRIMM, R.E. y CLARK, (1937). - Behaviour of montmorillonite by metting (use of oriented layers) Z. Kristallog. 97, 216, 222.

BRINDLEY, G.W. (1961). - Chlorite minerals. In the X-Ray identification and chystal structures of clay minerals (G. Brown. Editor): chap. 6, pp. 242-296. London. Mineral. Soc.

BRINDLEY, G.W. y SOUZA SANTOS (1971). - Antigorite its occurrence as a clay mineral. Clay and clay mineral. 19, 187,191.

- BROWN, G. (1965). - Significance of recent structure determinations of layer silicates for studies. *Clays minerals* 6, 73-82.
- BUNTFUS, J. (1967). - Die geologie der küstenketten zwischen dear iziu Verde una dear campo de Gibraltar (westeiche Betische Kordillere; Südsanien). *Geol. id. T.* 88, 373-420.
- CAILLERE Y MENIN (1957). - The chlorite and serpentine minerals. In the Differential Thermal Investigation of Clays. C.R.C. Mackenzie Ed.). Mineralogical society, London chap. VIII, 221-224.
- CALDERON, S. (1910). - Los minerales de España. Junta para ampliación de estudios e investigaciones científicas. Madrid.
- CHIDESTER, A. M.; EGEL Y WEIGHT (1964). - Talc. Resources of the United States. *Bull. 1167 U.S. Geol. Survey* pp. 1-61.
- CHAVE, P. (1967). - Tectonique du subbetique dans le Nord de la province de Cadix. (Espagne Meridionale). *Bull. Soc. Geol. France*, 7, 235-247.
- DELGADO, M. (1953). - Yacimientos de serpentina en Andalucía (II). *Anal. Edaf. y Fisiol. Veg.* 12, (4), 325-336.
- DELGADO, M. (1956). - Una nueva variedad de antigonita en el barranco de S. Juan (Granada). *Anal. Edaf. Fisiof. Veget.* 15, 189-229.

- DICKEY, J.S. (1970). - Partias fusion products in alpine type peridotites: Serranía de Ronda and other examples. *Min. Soc. Am. Spec. Pap.* 3, 33-49.
- DUPAR, C.L. Y GROSSET, A. (1962). - Etude comparée des gites platiníferes de la Serranía de Ronda et de l'Oural. *Mem. Soc. Phy. et Hist. Nat.* 38, 5. Genève.
- EZQUERRA DEL BAYO, J. (1850). - Ensayo de una descripción general de la estructura geológica del terreno de España. *Mem. Real Acad. Cienc.* 1 (2).
- ESTEVEZ, A. (1973). - La variante meridional del Pirineo Catalán al norte del curso medio del río Eluvia. Tesis Doctoral. Universidad de Granada. 44.
- FALLOT, P. (1948). - Les Cordillères Bétiques. *Esten. Geol.* 8, 83-172.
- GALAN et Al. (1972). - Field-Trips Guide of the 1972 International clay conference. *Soc. Esp. Arc. Madrid*.
- GASDEN, J.A. (1975). - Infrared spectra of minerals and related inorganic compounds. Butterworths. London.
- GREENWOOD, H. J. (1967). - En. P. M. Abelson (Ed.). *Researches in Geochemistry*. Vol. 2, pp. 542-567. John Wiley and Sons. New York.
- GRUNER, J. W. (1934). - Structure of arnesite and additional data on chlorites. *Amer. Min.* 29, 422-430.

- HENDRICKS and JEFFERSON (1938). - Kaolin and talc-Pyrophyllite hydrates; water souption of chays. Amer. Min. 23, 863-875.
- HERNANDEZ PACHECO A. (1967). - Estudio petrográfico y geológico del macizo entramórfico de Ojen. (Málaga). Estud. Geol. 23, 85-143.
- HERNANDEZ SAMPELAYO (1941). - Los criaderos de talco de Puebla de Lillo (León). Not. y Com. I. G. M. E. 8.
- HESS, A. H. (1933). - Hydrothermal metamorphism. of and ultrabasic intrusive at Scheryler, Virginia. Am. Journ. Sci. Sth. Ser. 26, nº 154, 317.
- HEY, H. H. (1954). - A new review of the chlorites. Mim. Magac. 30, 277-293.
- HOEPPENER, R.; HOPPE, P. DURR, S. et MOLLAT, M. (1964) Ein querschnitt durch die Betischen Kordilleren bei Ronda (SW. Spanien). Geol. en Miyubouw, 43, 282-298.
- HOYOS DE CASTRO Y AHUMADA, M. (1951). Análisis de un talco blanco de Lucar (Almería). Génesis de un talco de Lucar (Almería) . Anal. Edaf. y Fisiol. Veg. 10 117-124 y 125-133.
- HOYOS, A. y DELGADO, M. (1958). - Estudio mineralógico de un talco. Anal. Geol. 18, nº 2, 133-220.
- HOYOS, A. y GONZALEZ PARRA, J. (1971). - Estudio genético de un suelo sobre peridotitas en la Sierra de Aguas. An. Edaf. y Agrobiol. 30, (9-10). 869-888.

JOHANNES, W. (1969). - Am. J. Sci. 267, 1083-1104 (en Winkler M. G. F. (1974). Petrogenesis of metamorphic rocks. Springer-Verlag. Berlin).

LARRA BEE, D. M. (1966). - Map. showing distribution of ultramafic and intrusive mafic rocks from northern New Jersey to Eastern Alabama. U.S. Geol. Survey Misc. Geol. Inv. Map. M1-476.

LARRA BEE, D. M. (1971). - Map. showing distribution of ultramafic and intrusive rocks from New York to Maine. U.S. Geol. Survey Misc. Geol. Inv. Map. M1-676.

LEVY M., y BERGERON, J. (1889). - Mission d'Andalousie, Etudes relatives au tremblement de terre du 25 December 1884 et à la Constitution Géologique du salébraulé par les recources. Mem. Acad. Ca. 25, 2. Paris. Traducción Española Bol. Map. Geol. Esp. 1890. 1891. 1892. (1889).

LOOMIS, T. P. 1972. (a). Contact. metamorphism of pelitic rock by the Ronda ultramafic intrusion, southern Spain: Geol. Soc. Amer. Bull. 83, 2449-2474.
(1972 (b). - Diapiric emplacement of the Ronda high temperature ultramafic intrusion. Southern Spain: Geol. Soc. Amer. Bull. 83, 2475-2496.

LOOMIS, T. P. (1975). - Tertiary mantle diapirism, orogeny and plate tectonics east of the strait of Gibraltar. Amer. Jour. Scienc. 275, 1-29.

LOPEZ AGUAYO, F.; CABALLERO, M.A.; LA IGLESIA, A. y MARTIN VIVALDI, Jr. J.L. (1974). - Estudio mineralógico del talco de Cancelada (Málaga). Estud. Geol. 30, 463-470.

MACKENZIE, R.C. (1957). - The differential thermal investigation of clays. The mineralogic Society. London.

MANTHE, F. (1971). - La Geología de la Serranía de Ronda (Cordillera Bética Occidental). Boll. Geol. Min. 82, 1, 1-36. Madrid.

McPHERSON, J. (1874). - Memoria sobre la estructura de la Serranía de Ronda. Rev. Med. Cadiz.

- (1875). - Breves apuntes sobre el origen peridotítico de la Serranía de Ronda. An. Sc. Esp. Hist. Nat. 4 (1) Madrid.
- (1881). - Descripción de algunas rocas que se encuentran en la Serranía de Ronda. An. Sc. Esp. Hist. Nat. 8. Madrid.
- (1881) Relación entre las formas orográficas y la constitución geológica de la Serranía de Ronda. Madrid.

MENDIZABAL, J. (1941). - Estudio industrial del caolin en la España Nacional. Not. y Com. Ins. G.M.E., 8, 49-80.

MOLLAT, M. (1968). - Schichtenfolge und tektonischer Bau der Sierra Blanca und ihrer Umgebung (Tesis). Geol. Jahrb. 86, 471-532.

- NAGELDSMITH, G. (1941). - Identification of clay minerals by aggregate diffraction diagrams. J. Sci. Instr. 18, 100.10
- ORUETA, D. (1917). - Estudio Geológico y petrológico de la Serranía de Ronda. Mem. I. G. M. E. 28.
- PAULING, L. (1930). - The structure of micas and related minerals. Proc. Nat. Acad. Sci. U.S. 16, 123-129.
- PETRUCH, W. (1964). - Determination of the heavy atom content in chlorite by means of the X-Ray diffractometer. Amer. Mineral. 49, 61-71.
- POZZOLOLI, A.; MATTIAS, P. ; GALAN, E. (1973). - Mineralogía de sedimentos abruzzesi. Estratto dal "Periodico di Mineralogia" Anno XLI, nº 3, Roma.
- RAYNER, J.M. y BROWN, G. (1973). - The crystal structure of talc clay and clay min. 21, nº 2, 103.
- RODAS, M. y GALAN, E. (1973). - Contribución al estudio mineralógico de los depósitos de talco de Puebla de Lillo (León) España.
- ROSS, SMITH y ASHTON (1968). - Triclinic talc and associated amphiboles from gonserneuz mining district. New York. Am. Mineral, 53, 751-769.
- RUSSELL, J.; FARMER, V.C. y VELDE, B. (1970). - Replacement of (OH) by (OD) in layer silicates, and identification of the vibrations of these groups in infra-red spectra. Min. Mag. 37, 899-879.

- SHDEN, R. (1962). - Quantitative interpretation of mineralogical composition from X-ray band chemical dotc. for the Pierre Shale. U.S. Geol. Survey. Profess. Paper 391-c. , 1-31.
- STEMPLE, I.S. y BRINDLEY, G.W. (1960). A structural study of talc and talc-tremolite relations. J. Amer. Ceram. 43, 34-42.
- STUBICAN, V. y ROY, R. (1961). - A new approach to assignement to infrared absorption band in layer-structure silicates. Z. Kristallogr. 115, 200-214.
- TARAMELLI, T. y MERCALLI, G. (1956). - Il terremoto andalusi cominciati il 25dicembre 1884. Real. Acad. Lincei. Roma.
- TERMIER, H. y TERMIER (1956). - L'evolution de la lithosphere. I. Petrogenese Manson et Cia. Ed. Paris 525-530.
- TURNER, F.J. (1968) . Metamorphic petrology. Mc.Graw.Hill. New York.
- VAN DER MAREL y BENTELSPACHER (1976). - Atlas of electron microscopy of clay minerals and their admixtures . Elsevier. London.
- VOINOVITH, I.A. et al. (1966). The analisis of silicated. Israel Program for scientific. Translation.

VON ENGLEHART (1942). - Die strukturen von thringit, Bevalit
una chamosit und ihre stellung in der chlorit-gruppe
Z. Krist. 104, 142-159.

WHITAKER, E.J. W. and ZUSSMAN, J. (1956). Characterization
of serpentine minerals by x-ray diffraction. Miner.
Mag. 31, 107-126.

WILKINS, R.E. e ITO, J.C. (1967). - Infra-red spectra of some
synthetic talcs. Am. Mineralogist. 52, 1649-1661.

WINKLER, M.G.F. (1974). - Petrogenesis of metamorphic rocks.
Ed. Edagar Froese. Springer-Verlag. New York.